

ANA ELISABETE NASCIMENTO TONON

**EFEITOS DA DENSIDADE INICIAL E DO SÍTIO
SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO
DE BRACATINGAIS DA REGIÃO
METROPOLITANA DE CURITIBA**

Dissertação apresentada como requisito parcial
à obtenção do grau de Mestre. Curso de Pós-
Graduação em Engenharia Florestal, Setor de
Ciências Agrárias, Universidade Federal do
Paraná.

Orientador: Prof. Sebastião do A. Machado

CURITIBA
1998



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO E DO DESPORTO
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SETOR DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA FLORESTAL

P A R E C E R

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **ANA ELISABETE NASCIMENTO TONON**, sob o título "**EFEITOS DA DENSIDADE INICIAL E DO SÍTIO SOBRE O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO DE BRACATINGAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**", para obtenção do grau de Mestre em Ciências Florestais, no Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **MANEJO FLORESTAL**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação, com média final: (10,0), correspondente ao conceito: (A).

Curitiba, 30 DE ABRIL DE 1998



Pesq. Antônio Aparecido Carpanezi
Primeiro Examinador
EMBRAPA/CNPQ

Pesq. Romaldo Maestri
Segundo Examinador
PISA FLORESTAL

Prof. Dr. Sebastião do Amaral Machado
Orientador e Presidente da Banca
UFPR

Quando Deus criou o mundo e as pessoas que nele viveriam - um trabalho que, de acordo com a ciência moderna exigiu muito tempo - , imagino que Ele argumentou consigo mesmo da seguinte forma: “Se Eu faço tudo previsível, esses seres humanos, aos quais dei excelentes cérebros, certamente aprenderão a predizer tudo, e assim não encontrarão motivo algum para fazer qualquer coisa, pois reconhecerão que o futuro é totalmente determinado e não pode ser influenciado por qualquer ação humana. Se, ao contrário, Eu faço tudo imprevisível, eles aos poucos descobrirão que não há qualquer base racional para tomar decisões e, como no primeiro caso, não terão mais motivos para agir. Nenhum dos dois esquemas faria sentido. Devo então criar uma mistura dos dois, fazendo algumas coisas previsíveis e outras imprevisíveis. Eles terão então, entre muitas outras coisas, a importante tarefa de descobrir qual é qual”.

E. F. Schumacher

AGRADECIMENTOS

À EMBRAPA-CNPQ, que cedeu os dados para a realização desta pesquisa.

À Universidade Federal do Paraná, especialmente ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, por me proporcionar a oportunidade da realização desse trabalho.

Ao Prof. Sebastião do Amaral Machado, que não só orientou, como acreditou, me ajudou e apoiou.

Aos meus co-orientadores Edilson Batista de Oliveira, Prof. Afonso Figueiredo Filho e Prof. Carlos Roberto Sanquetta, pela ajuda inestimável, em inúmeras horas cedidas a esse trabalho e por tudo que me ensinaram.

Ao pesquisador da EMBRAPA Antônio Carpanezi, pelas informações sobre a bracatinga e pelo entusiasmo com relação a esta pesquisa.

Ao SIMEPAR, na pessoa do Sr. Tarcísio, que forneceu todos os dados meteorológicos necessários, com extrema rapidez e simpatia.

A Jefferson Bueno Mendes, pela resposta a numerosos pedidos de ajuda e, principalmente, pelo incentivo.

Às Profas. Fany Reicher e Joana Léa Meira Silveira Ganter, por ter despertado em mim a curiosidade e o amor pela Ciência.

A Romualdo Maestri, pela idéia do t-pareado.

A Guilherme, Marisete, Otávio, Zé Geraldo, Magali, Leide, Danielle e Márcio, pela amizade e cooperação e a Zilna e Jane, além da amizade, pela experiência que compartilharam comigo.

Aos produtores de bracatinga, especialmente aos Srs. Daniel Rosenente, Felício Costa Curta, Benjamin Scremin e Antônio Trevisan, que permitiram a realização do experimento.

Ao CNPq, pelo suporte financeiro durante os anos de Mestrado.

Aos meus pais e meus irmãos, pelo amor, carinho e estímulo.

Ao Dave, pelo apoio, paciência e sugestões.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE QUADROS	x
LISTA DE FIGURAS	xi
RESUMO.....	xvi
ABSTRACT	xvii
1 <u>INTRODUÇÃO</u>	1
2 <u>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</u>	5
2.1 <u>A BRACATINGA</u>	5
2.2 <u>O SISTEMA DE MANEJO TRADICIONAL DA BRACATINGA</u>	7
2.3 <u>A DENSIDADE INICIAL</u>	10
2.4 <u>O EFEITO DA DENSIDADE INICIAL NAS DIVERSAS VARIÁVEIS</u> <u>DENDROMÉTRICAS</u>	12
2.5 <u>O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO FLORESTAL</u>	19
2.6 <u>O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO DA BRACATINGA</u>	22
2.7 <u>ESTUDOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO</u>	26
2.8 <u>MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO</u>	28
3 <u>MATERIAL E MÉTODOS</u>	32
3.1 <u>LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA</u>	32
3.2 <u>IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE INICIAL</u>	33
3.3 <u>COLETA DE DADOS DAS PARCELAS PERMANENTES</u>	34
3.4 <u>COLETA DE DADOS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS</u>	35
3.5 <u>BASE DE DADOS</u>	36
3.6 <u>CLASSIFICAÇÃO DOS SÍTIOS</u>	37
3.7 <u>ANÁLISE DOS EFEITOS DA DENSIDADE E DO SÍTIO NA PRODUÇÃO</u> .	40
3.7.1 <u>ANÁLISE GRÁFICA</u>	40
3.7.1.1 <u>Estimativa dos Blocos Ausentes nas Últimas Medições</u>	40
3.7.2 <u>ANÁLISE DE VARIÂNCIA</u>	43
3.7.3 <u>COMPARAÇÃO ENTRE DENSIDADES INICIAIS</u>	43
3.7.4 <u>COMPARAÇÃO ENTRE CLASSES DE SÍTIO</u>	43

3.8 <u>MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS</u>	45
3.8.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS VARIÁVEIS	45
3.8.2 MODELAGEM DAS VARIÁVEIS	46
3.8.2.1 O Modelo de Chapman-Richards	46
3.8.2.2 Métodos de Ajuste Para Modelos Não Lineares	47
3.8.2.3 Parcelas Permanentes	49
3.8.2.4 Parcelas Temporárias e Combinação Dessas com as Permanentes ..	50
3.8.2.5 Comparação Entre as Equações	51
4 <u>RESULTADOS E DISCUSSÃO</u>	53
4.1 <u>EFEITO DA DENSIDADE INICIAL E DO SÍTIO SOBRE AS</u> <u>DIVERSAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS</u>	53
4.1.1 DIÂMETRO MÉDIO (DAP), ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA (g) E VOLUME INDIVIDUAL MÉDIO (v)	53
4.1.1.1 Crescimento em Função da Densidade Inicial	53
4.1.1.2 Crescimento em Função do Sítio	59
4.1.1.3 Análise de Variância Para Efeitos de Densidade e Sítio	59
4.1.1.4 Efeito da Densidade Inicial	64
4.1.1.5 Efeito do Sítio	69
4.1.2 ALTURA MÉDIA (h) E ALTURA DOMINANTE (Hdom)	70
4.1.2.1 Crescimento em Função da Densidade Inicial	70
4.1.2.2 Crescimento em Função do Sítio	74
4.1.2.3 Análise de Variância Para Efeitos de Densidade e Sítio	75
4.1.2.4 Efeito da Densidade Inicial	77
4.1.2.5 Efeito do Sítio	81
4.1.3 MORTALIDADE	82
4.1.3.1 Mortalidade em Função da Densidade Inicial	82
4.1.3.2 Mortalidade em Função do Sítio	88
4.1.4 ÁREA BASAL (G) E VOLUME POR HECTARE (V).....	91
4.1.4.1 Crescimento em Função da Densidade Inicial	91
4.1.4.2 Crescimento em Função do Sítio	95
4.1.4.3 Análise de Variância Para Efeitos de Densidade e Sítio	98

4.1.4.4 Efeito da Densidade Inicial	102
4.1.4.5 Efeito do Sítio	103
4.2 <u>MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS</u>	104
4.2.1 DIÂMETRO MÉDIO (DAP)	104
4.2.1.1 Parcelas Permanentes	106
4.2.1.2 Parcelas Temporárias	117
4.2.1.3 Combinação das Parcelas Temporárias e das Testemunhas das Parcelas Permanentes	119
4.2.1.4 Comparação Entre as Equações Para Parcelas Permanentes e Para Parcelas Temporárias e Entre as Equações da Combinação de Dados com Cada Grupo em Separado	120
4.2.2 ALTURA MÉDIA (h)	123
4.2.2.1 Parcelas Permanentes	125
4.2.2.2 Parcelas Temporárias	132
4.2.2.3 Combinação das Parcelas Temporárias e das Testemunhas das Parcelas Permanentes	134
4.2.2.4 Comparação Entre as Equações Para Parcelas Permanentes e Para Parcelas Temporárias e Entre as Equações da Combinação de Dados com Cada Grupo em Separado	135
4.2.3 VOLUME MÉDIO INDIVIDUAL (v)	139
4.2.3.1 Parcelas Permanentes	141
4.2.3.2 Parcelas Temporárias	147
4.2.3.3 Combinação das Parcelas Temporárias e das Testemunhas das Parcelas Permanentes	149
4.2.3.4 Comparação Entre as Equações Para Parcelas Permanentes e Para Parcelas Temporárias e Entre as Equações da Combinação de Dados com Cada Grupo em Separado	150
4.2.4 VOLUME POR HECTARE (V) E ÁREA BASAL (G)	153
4.2.4.1 Testemunha	157
4.2.4.2 Demais Tratamentos	162
5 <u>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</u>	166

ANEXO 1 - DADOS METEOROLÓGICOS	169
ANEXO 2 - PARCELAS PERMANENTES	170
ANEXO 3 - PARCELAS TEMPORÁRIAS	174
ANEXO 4 - MODELAGEM DE DAP, VOLUME E \bar{g} MÉDIOS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	178
ANEXO 5 - MODELAGEM DA ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	185
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	187

LISTA DE TABELAS

1	Nº DE ÁRVORES VIVAS DE BRACATINGA/HA EM POVOAMENTOS MANEJADOS NO SISTEMA TRADICIONAL (CARPANEZZI et al., 1988)	9
2	DAP, ALTURA E VOLUME DE LENHA (VALORES MÉDIOS POR HECTARE) DE BRACATINGA, AOS TRÊS ANOS DE IDADE (BAGGIO et al., 1992)	19
3	COMPORTAMENTO DA BRACATINGA EM PLANTIOS POR MUDAS NO PARANÁ E SANTA CATARINA (CARPANEZZI et al., 1988)	23
4	DADOS DE PLANTIOS EXPERIMENTAIS DE BRACATINGA (CARVALHO, 1981)	23
5	INVENTÁRIO DE BRACATINGAIS TRADICIONAIS (ÁRVORES VIVAS, DAP > 5 cm) (CARPANEZZI et al., 1988)	24
6	BLOCOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE (localização e identificação)	33
7	TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE INICIAL	34
8	DATA E IDADE DE MEDIÇÃO DAS PARCELAS PERMANENTES	35
9	PARCELAS TEMPORÁRIAS POR CLASSE DE IDADE	36
10	LIMITES INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) DAS ALTURAS DOMINANTES (m) ESTIMADAS POR IDADE E POR SÍTIO	39
11	CLASSIFICAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE EM CLASSES DE SÍTIO	39
12	MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR N	42
13	DAPs MÉDIOS DE PARCELAS DE OBSERVAÇÃO ESTABELECIDAS EM POVOAMENTOS EQUIÂNEOS (AHRENS, 1981)	57
14	DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE AS MÉDIAS DE DAP DE CADA TRATAMENTO EM RELAÇÃO À DENSIDADE 2 MIL PLANTAS/HA	63
15	DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE AS MÉDIAS DE VOLUME DE CADA TRATAMENTO EM RELAÇÃO À DENSIDADE 2 MIL PLANTAS/HA	63
16	MODELOS TESTADOS PARA OS DADOS DE DAP, VOLUME E ÁREA TRANSVERSAL MÉDIOS E RESPECTIVOS NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO	65
17	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE DIVERSOS MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO DE BRACATINGAIS COM IDADE APROXIMADA DE 4 ANOS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	66
18	MÉDIA DE DAP DOS BLOCOS	69
19	MÉDIA DE VOLUME INDIVIDUAL DOS BLOCOS	69
20	MÉDIA DE ÁREA TRANSVERSAL DOS BLOCOS	69
21	ALTURAS MÉDIAS DE PARCELAS DE OBSERVAÇÃO ESTABELECIDAS EM POVOAMENTOS EQUIÂNEOS (AHRENS, 1981)	72
22	MODELOS TESTADOS PARA OS DADOS DE ALTURA MÉDIA E RESPECTIVOS NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO	78
23	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE DIVERSOS MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE ALTURA MÉDIA DE BRACATINGAIS COM IDADE APROXIMADA DE 4 ANOS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	78
24	MÉDIA DE ALTURA DOS BLOCOS - 1ª, 2ª e 3ª medições	81
25	MÉDIA DE ALTURA DOS BLOCOS - 4ª, 5ª e 6ª medições	81
26	ALTURA DOMINANTE MÉDIA DOS BLOCOS	81
27	VALORES DE N (número de árvores/ha) E TAXAS PERCENTUAIS DE MORTALIDADE POR PERÍODO PARA AS DIFERENTES DENSIDADES INICIAIS E MEDIÇÕES	84

28	DENSIDADE DA BRACATINGA APÓS O DESBASTE E AOS 29 MESES DE IDADE (CARPANEZZI, 1994)	87
29	VALORES MÉDIOS DE N (número de árvores/ha) E TAXAS PERCENTUAIS DE MORTALIDADE POR PERÍODO PARA OS DIFERENTES BLOCOS E MEDIÇÕES	90
30	MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR N	91
31	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DE VALORES DE N, POR DENSIDADE E SÍTIO	92
32	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA ABSOLUTA (F.A.) E RELATIVA (F.R.) PARA DIFERENTES DENSIDADES INICIAIS, AOS 7,6 ANOS DE IDADE ...	100
33	DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA ABSOLUTA (F.A.) E RELATIVA (F.R.) PARA DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, AOS 7,6 ANOS DE IDADE	102
34	MÉDIA DE VOLUME/HA DOS BLOCOS	104
35	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP - PARCELAS PERMANENTES	106
36	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO PARÂMETRO <i>A</i> EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES E SÍTIOS, PARA DAP	107
37	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP, COM ASSÍNTOTA E COEFICIENTE <i>b</i> FIXOS - PARCELAS PERMANENTES	109
38	VALORES DO TESTE DE F-PARCIAL, PARA COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE AJUSTE LIVRE E COM ASSÍNTOTA FIXA, PARA DAP	110
39	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP - PARC. TEMPORÁRIAS	117
40	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARCELAS TEMPORÁRIAS	118
41	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP - PARC. TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHAS PERMANENTES	119
42	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARC. TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHAS PERMANENTES	119
43	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA MÉDIA	125
44	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO PARÂMETRO <i>A</i> EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E SÍTIO, PARA ALTURA MÉDIA	126
45	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA MÉDIA, COM ASSÍNTOTA FIXA	127
46	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA MÉDIA - PARC. TEMPORÁRIAS	132
47	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARC. TEMPORÁRIAS	133
48	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA - PARCELAS TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHA DAS PERMANENTES COMBINADAS	134
49	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARC. TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHA DAS PERMANENTES COMBINADAS .	135
50	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO	141
51	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO PARÂMETRO <i>A</i> EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES E SÍTIOS, PARA <i>v</i>	142

52	COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA v , COM ASSÍNTOTA FIXA	143
53	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO - PARC. TEMPORÁRIAS	147
54	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARCELAS TEMPORÁRIAS	147
55	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO - PARC. TEMPORÁRIAS E PERMANENTES COMBINADAS	149
56	AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO - PARC. TEMPORÁRIAS E PERMANENTES COMBINADAS, ASSÍNTOTA FIXA	149
57	TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO (mm) DE 1984 A 1991	169
58	TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS (°C) DE 1984 A 1991	169
59	DADOS DE MENSURAÇÃO DAS PARCELAS PERMANENTES	170
60	DADOS DE MENSURAÇÃO DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS	174
61	RESULTADOS DO MODELO DE MELHOR AJUSTE (MODELO 5 – TABELA 16) PARA ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE	178
62	RESULTADOS DO MODELO DE MELHOR AJUSTE (MODELO 5 – TABELA 16) PARA ESTIMATIVA DE VOLUME MÉDIO DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE	178
63	RESULTADOS DO MODELO DE MELHOR AJUSTE (MODELO 5 – TABELA 16) PARA ESTIMATIVA DA g MÉDIA DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE	178
64	RESULTADOS DOS MODELOS DE MELHOR AJUSTE (CONFORME TABELA 22) PARA ESTIMATIVA DA ALTURA MÉDIA DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE	185

LISTA DE QUADROS

1	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA DAP MÉDIO	61
2	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA VOLUME INDIVIDUAL	61
3	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA	62
4	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ALTURA MÉDIA	75
5	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ALTURA DOMINANTE	76
6	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ÁREA BASAL	98
7	ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA VOLUME/HA	99

LISTA DE FIGURAS

1	EVOLUÇÃO DO DAP DE PLANTAÇÕES ESTABELECIDAS COM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS (CLUTTER et al., 1983)	13
2	EVOLUÇÃO DO DAP E VOLUME DO POVOAMENTO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES (CREMER; CROMER; FLORENCE, 1978)	14
3	EFEITO DA DENSIDADE DO POVOAMENTO SOBRE A TAXA DE CRESCIMENTO EM EXPERIMENTOS DE ESPAÇAMENTO PARA FLORESTAS EQUILÂNEAS (CLUTTER et al., 1983)	17
4	EFEITO DA DENSIDADE INICIAL DO POVOAMENTO SOBRE A PRODUTIVIDADE, EM EXPERIMENTOS DE ESPAÇAMENTO PARA FLORESTAS EQUILÂNEAS (CLUTTER et al., 1983)	18
5	CURVA DE CRESCIMENTO ACUMULADO (a) E TAXA DE CRESCIMENTO (b) (HUSCH et al., 1982)	21
6	PADRÃO DE CRESCIMENTO EM ALTURA DE MUITAS ESPÉCIES DE CONÍFERAS (AVERY; BURKHART, 1983)	22
7	PRODUÇÃO TOTAL (pés ³) POR ACRE (CLUTTER et al., 1983)	27
8	DADOS OBSERVADOS DE MÉDIAS DE DAP - MEDIÇÃO 4	44
9	DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	54
10	VOLUME INDIVIDUAL MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	55
11	ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	55
12	DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	60
13	VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	60
14	ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	60
15	DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	65
16	DAP MÉDIO COMO FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE	67
17	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DA EQUAÇÃO DE DAP EM FUNÇÃO DA DENSIDADE AOS 4 ANOS DE IDADE	67
18	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	71
19	ALTURA DOMINANTE EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	71
20	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	74
21	ALTURA DOMINANTE EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	74
22	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	77
23	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE	80
24	DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DA EQUAÇÃO DE ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE AOS 4 ANOS DE IDADE	80
25	NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E DA IDADE	82
26	NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE (%)	83
27	NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE (%), A PARTIR DA TERCEIRA MEDIÇÃO	83
28	NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE (%)	89
29	ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	92
30	VOLUME/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE	93
31	ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	96

32	VOLUME/HA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE	96
33	ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	102
34	VOLUME/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL	103
35	DAP X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	104
36	DAP X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	104
37	DAP X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	105
38	DAP X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	105
39	DAP X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	105
40	DAP X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	105
41	DAP X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II	105
42	DAP X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III	105
43	DAP X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I	105
44	DAP X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II	105
45	DAP X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO III	106
46	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, 2 MIL PLANTAS/HA, PARCELAS PERMANENTES	112
47	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, 4 MIL PLANTAS/HA, PARCELAS PERMANENTES	112
48	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, 8 MIL PLANTAS/HA, PARCELAS PERMANENTES	113
49	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, TESTEMUNHA, PARCELAS PERMANENTES	113
50	DAP X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA	114
51	DAP X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA	114
52	DAP X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA	114
53	DAP X IDADE, TESTEMUNHA	114
54	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, SÍTIO II - PARCELAS PERMANENTES	116
55	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, SÍTIO III - PARCELAS PERMANENTES	116
56	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, PARCELAS TEMPORÁRIAS, COM ASSÍNTOTA FIXA	118
57	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP, COMBINAÇÃO DOS DADOS DE PARCELAS TEMPORÁRIAS E TRATAMENTO 4, ASSÍNTOTA FIXA	120
58	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE DAP COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E DA COMBINAÇÃO COM A TESTEMUNHA DAS PERMANENTES - SÍTIO I	121
59	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE DAP COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS - SÍTIO II	121
60	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE DAP COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS - SÍTIO III	122
61	ALTURA X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	123
62	ALTURA X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	123
63	ALTURA X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	124
64	ALTURA X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	124
65	ALTURA X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	124

66	ALTURA X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	124
67	ALTURA X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II	124
68	ALTURA X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III	124
69	ALTURA X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I	124
70	ALTURA X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II	124
71	ALTURA X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO III	125
72	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, 2 MIL PLANTAS/HA	128
73	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, 4 MIL PLANTAS/HA	128
74	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, 8 MIL PLANTAS/HA	129
75	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, TESTEMUNHA	129
76	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, SÍTIO I	130
77	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, SÍTIO II	130
78	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, SÍTIO III	131
79	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, PARC. TEMPORÁRIAS, AJUSTE LIVRE	133
80	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, PARC. TEMPORÁRIAS, ASSÍNTOTA FIXA	134
81	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, AJUSTADO PARA A COMBINAÇÃO DOS DADOS DE PARCELAS PERMANENTES E TESTEMUNHA DO EXPERIMENTO, AJUSTE LIVRE	136
82	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, AJUSTADO PARA A COMBINAÇÃO DOS DADOS DE PARCELAS PERMANENTES E TESTEMUNHA DO EXPERIMENTO, ASSÍNTOTA FIXA	136
83	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE ALTURA DE AJUSTE LIVRE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DESSAS - SÍTIO I	137
84	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE ALTURA DE AJUSTE LIVRE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DESSAS - SÍTIO II	137
85	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE ALTURA DE AJUSTE LIVRE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DESSAS - SÍTIO III	138
86	v médio X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	140
87	v médio X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	140
88	v médio X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	140
89	v médio X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	140
90	v médio X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	140
91	v médio X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	140
92	v médio X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II	140
93	v médio X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III	140
94	v médio X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I	141

95	v médio X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II	141
96	v médio X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO III	141
97	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, 2 MIL PLANTAS/HA, PARC. PERMANENTES	144
98	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, 4 MIL PLANTAS/HA, PARC. PERMANENTES	144
99	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, 8 MIL PLANTAS/HA, PARC. PERMANENTES	145
100	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, TESTEMUNHA, PARC. PERMANENTES	145
101	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, SÍTIO II, PARC. PERMANENTES	146
102	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, SÍTIO III, PARC. PERMANENTES	146
103	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, PARCELAS TEMPORÁRIAS, ASSÍNTOTA FIXA	148
104	MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME, PARCELAS TEMPORÁRIAS E PERMANENTES COMBINADAS - ASSÍNTOTA FIXA	150
105	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE VOLUME MÉDIO COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS PERMANENTES TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS, PARA O SÍTIO I	151
106	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE VOLUME MÉDIO COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS PERMANENTES TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS, PARA O SÍTIO II	152
107	COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE VOLUME MÉDIO COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS PERMANENTES TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS, PARA O SÍTIO III	152
108	V/ha X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	153
109	V/ha X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	153
110	V/ha X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	153
111	V/ha X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	153
112	V/ha X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	154
113	V/ha X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	154
114	V/ha X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II	154
115	V/ha X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III	154
116	V/ha X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I	154
117	V/ha X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II	154
118	V/ha X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO III	154
119	G X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	155
120	G X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	155
121	G X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	155
122	G X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	155
123	G X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II	155
124	G X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III	155
125	G X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II	155
126	G X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III	155
127	G X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I	156
128	G X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II	156

129	G X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO III	156
130	VOLUME DE BRACATINGA/HA EM FUNÇÃO DA IDADE (CAMPOS et al., 1986, HOSOKAWA et al., 1981 e ROCHADELLI, 1997)	158
131	DAP x IDADE (CAMPOS et al., 1986)	159
132	ALTURA x IDADE (CAMPOS et al., 1986)	159
133	ÁREA BASAL DE BRACATINGA EM FUNÇÃO DA IDADE (CAMPOS et al., 1986 e HOSOKAWA et al., 1981)	161
134	EVOLUÇÃO DO V/HA EM FUNÇÃO DOS TRATAMENTOS	164
135	VOLUME/HA EM FUNÇÃO DO TRATAMENTO (CARPANEZZI, 1994)	165
136	DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE ..	179
137	DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 6,3 ANOS DE IDADE	179
138	DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 7,6 ANOS DE IDADE	180
139	VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE	180
140	VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE	181
141	VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 6,3 ANOS DE IDADE	181
142	VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 7,6 ANOS DE IDADE	182
143	ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE	182
144	ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE	183
145	ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 6,3 ANOS DE IDADE	183
146	ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 7,6 ANOS DE IDADE	184
147	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, A 1 ANO DE IDADE	185
148	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 2 ANOS DE IDADE	186
149	ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE	186

RESUMO

Foram analisados os efeitos de quatro densidades iniciais (2 mil, 4 mil, 8 mil e 25,15 mil plantas/ha) e de três classes de sítio (índices de 10,2; 13,5 e 16,8 m de altura dominante aos 7 anos de idade) sobre as variáveis DAP, volume (v), área transversal (g) e altura (h) médios, altura dominante (H_{dom}), área basal (G), volume por hectare (V) e mortalidade de povoamentos de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) na Região Metropolitana de Curitiba. Equações de produção foram desenvolvidas para a estimativa presente e futura das variáveis DAP, altura e volume individual médios. Parcelas de um experimento de densidades e medições de outras 124 parcelas temporárias geraram os dados necessários. As parcelas permanentes foram medidas nas idades de 1; 2; 4,1; 5,1; 6,3 e 7,6 anos. Os efeitos da densidade inicial e do sítio foram examinados através de análises de variância. A comparação entre os tratamentos (densidades) foi feita através de análise de tendências, e o confronto entre os blocos (sítios) foi realizado através do teste de Tukey. Detectou-se efeito significativo, e uma relação inversamente proporcional, das densidades iniciais sobre as variáveis DAP, v e g , em todas as idades. A densidade inicial de 4 mil plantas/ha gerou os maiores valores de h , G e V , nas últimas idades de medição. A altura dominante não foi influenciada pela densidade inicial, enquanto que a mortalidade apresentou relação diretamente proporcional com densidade. Sítios melhores favoreceram o crescimento das variáveis DAP, volume e altura médios e altura dominante, em todas as idades, mas não influenciaram a área basal nem a mortalidade. O volume/ha sofreu influência dos sítios até a idade de 6,3 anos. O modelo de Chapman-Richards ajustou-se bem aos dados de DAP, altura e volume em função da idade, mas o número de dados após a estratificação para cada combinação de densidade inicial e sítio foi muito pequeno, o que exige cuidado no uso das equações na estimativa dessas variáveis.

ABSTRACT

The effect of four initial densities (2000, 4000, 8000 and 25150 plants/ha) and three site classes (indices 10.2, 13.5 and 16.8 m dominant height at age seven) on the variables mean DBH, volume (v), transversal area (ba) and height (h), dominant height (H_{dom}), basal area (BA), volume per hectare (V) and mortality was studied for bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) in the metropolitan region of Curitiba, Brazil. Production functions were developed to estimate present and future mean DBH, height and individual tree volume. The data were generated from permanent plots of a density trial and measurements of 124 other temporary plots. The permanent plots were measured at 1, 2, 4.1, 5.1, 6.3 and 7.6 years of age. Analyses of variance were used to analyse the effects of initial density and site. Treatments (densities) and blocks (sites) were compared using tendency analyses and Tukey tests respectively. A significant inverse relationship was found between initial densities and the variables DBH, v and ba , for each of the ages studied, whereas the highest values of h , BA and V were obtained from plots with an initial density of 4000 plants/ha. Initial density had no effect on dominant height, while it was found to be directly proportional to mortality. Better sites favoured the growth of the variables mean DBH, volume and height and dominant height at all ages, but did not influence BA nor mortality. Volume/ha was affected by site quality until 6.3 years of age. The Chapman-Richards growth model was found to be appropriate to describe the evolution of mean DBH, height and volume. However, because there were few observations after stratifying for each combination of treatment and site, the equations should be used carefully when estimating these variables.

1 INTRODUÇÃO

A cultura da bracatinga é realizada, predominantemente, em propriedades agrícolas de até 50 hectares (BAGGIO et al., 1986; CARPANEZZI et al., 1988). A implantação tradicional é feita por regeneração natural via sementes, induzida pela queima dos restos da exploração florestal anterior. No primeiro ano a bracatinga é consorciada com culturas de ciclo curto, principalmente milho e feijão. Após a colheita das culturas agrícolas, não são realizados tratos culturais no povoamento florestal, não havendo, portanto, custos de implantação ou manutenção do bracatingal (CARPANEZZI et al., 1988).

O principal e mais importante uso da madeira de bracatinga é para energia, como lenha e, secundariamente, como carvão. Mas, além dessa utilização, a bracatinga tem ainda várias outras: para celulose, como planta apícola e forrageira, na recuperação de áreas degradadas e como sombreadora em cafezais (CARPANEZZI et al., 1988). É utilizada ainda como escora na construção civil, na fabricação de aglomerados (CARVALHO, 1981a), como material de construção e para cercados e afins (GRAÇA et al., 1986) e outras pequenas construções rurais (MAZUCHOWSKI, 1990). Outros usos citados são como planta ornamental e paisagística, como adubo verde (NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES, 1980), para produção de compensados e madeira serrada no fabrico de caixotaria e em acabamentos internos na construção civil (LORENZI, 1992). ROCHADELLI (1997) citou ainda o uso em peças para estaleiros para olericultura e na fabricação de móveis, após tratamento adequado de secagem e usinagem. Esse autor mencionou ainda que as lâminas de bracatinga às vezes são vendidas sob o nome de “imbuia-branca”, devido aos desenhos atraentes. BAGGIO et al. (1986) acrescentaram também a capacidade dessa leguminosa em amenizar danos ambientais. Além desses usos já conhecidos, a espécie apresenta diversas potencialidades sob investigação. As hemiceluloses do tronco, por exemplo, foram estudadas (REICHER et al., 1984, 1989) e conduziram à pesquisa dos carboidratos das sementes. Essas revelaram-se excelentes fontes de

galactomananas, que são polissacarídeos espessantes em água, largamente utilizados nas indústrias alimentícia, cosmética, farmacêutica e de tintas (GANTER, 1988, 1991; GANTER et al., 1997).

A maior parte da lenha de bracatinga na Região Metropolitana de Curitiba é utilizada pelas indústrias processadoras de cal e/ou calcário. Nos últimos anos, essas empresas têm passado a utilizar resíduos de serrarias como fonte de energia, sendo que essa nova opção é mais barata, melhora a qualidade do produto final e acaba com a necessidade de se produzir madeira, eliminando os problemas fundiários relativos ao cultivo de bracatinga (ROCHADELLI, 1997). Assim, faz-se necessário o estudo de novos usos para a madeira de bracatinga, como alternativa para os pequenos produtores.

O interesse pela silvicultura da bracatinga começou no início do século, com a intensa propaganda realizada por Romário MARTINS (1944). Segundo BAGGIO et al. (1986), “o sistema agroflorestal tradicional com bracatinga pode ser considerado como o mais antigo sistema de produção racional de lenha no sul do Brasil”.

A tradição, aliada a todas as possibilidades de uso e à elevada taxa de crescimento, considerada uma das mais rápidas entre as árvores brasileiras, fazem da bracatinga a espécie florestal nativa mais importante da região metropolitana de Curitiba, representando uma parte importante na economia dessas pequenas propriedades rurais. CARPANEZZI et al. (1988) afirmaram que o bracatingal desempenha o papel de “poupança verde”, pois dele o produtor espera uma renda segura, com minimização da mão-de-obra. GRAÇA et al. (1986) acrescentaram que o cultivo dessa espécie, devido a essa geração de renda sem muitos riscos para os proprietários e à sua exploração em milhares de pequenas propriedades, contribui como fator de estabilidade social.

MAZUCHOWSKI (1992) citou outros aspectos que evidenciam a importância econômica da bracatinga para os pequenos produtores e para a Região Metropolitana de Curitiba:

- * mais da metade da lenha para consumo industrial na região é de bracatinga (o consumo total está entre 1,5 e 2 milhões de estéreos/ano);
- * os 60 mil ha plantados pelos agricultores geram anualmente um produto bruto de aproximadamente 5 milhões de dólares;
- * para os 3 mil agrossilvicultores da região, a rentabilidade do sistema bracatinga é duas vezes superior à da agricultura tradicional.

Esse mesmo autor chamou atenção para as possibilidades de melhoria técnica, que permitiriam aumentar em 50% a rentabilidade do sistema. No entanto, o manejo da bracatinga continua sendo feito da forma tradicional, o que, talvez, não seja a maneira ótima de se conduzir os povoamentos. Além disso, usos alternativos da espécie, como por exemplo a madeira serrada, justificam e tornam de fundamental importância a pesquisa de técnicas de manejo para produção de árvores com características desejáveis para os novos fins.

AHRENS, em 1981, já sugeria que se intensificassem pesquisas de métodos de implantação de povoamentos, de estudos comparativos com o crescimento de espécies alternativas, de volumetria e estimativas de produção e de sua viabilidade econômica, para que a bracatinga pudesse se tornar a base de um programa de formação de florestas energéticas. LISBÃO JR. (1981), CARPANEZZI e CARPANEZZI (1992), STURION et al. (1994) e MAZUCHOWSKI, na introdução ao trabalho de CARPANEZZI et al. (1988), também atentaram para a necessidade de aumentar a produtividade de bracingais, através de técnicas de manejo mais adequadas, do uso de sementes melhoradas, de inoculação com *Rhizobium* específico, com o emprego de fertilizantes e com melhor divulgação dos resultados de pesquisas.

Assim, tornou-se muito importante a geração de informações mais acuradas quanto ao crescimento e produção de bracingais, bem como a avaliação dos efeitos de diferentes técnicas silviculturais sobre as variáveis dendrométricas de bracingais. Essas informações são indispensáveis para se criar uma base concreta de conhecimentos fundamentais para a tomada de decisões quanto ao manejo da espécie.

Os objetivos dessa dissertação foram os seguintes:

a) analisar os efeitos da densidade inicial sobre as seguintes variáveis: volume e área basal por hectare, diâmetro (DAP) e altura médios, altura dominante, volume e área transversal individuais e mortalidade;

b) analisar os efeitos da qualidade de sítio sobre as mesmas variáveis;

c) desenvolver equações para estimativas presentes e futuras das variáveis do povoamento e da árvore de bracatingais, para diversos níveis de densidade inicial e classes de sítio.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A BRACATINGA

A bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) é uma espécie florestal pioneira, heliófita em todas as fases do seu desenvolvimento, de rápido crescimento e pouco exigente quanto às condições físicas do solo (BURKART et al., 1978), embora solos mal drenados sejam sua principal restrição edáfica (CARPANEZZI et al., 1988). É característica e exclusiva das regiões das matas de pinhais, principalmente de associações secundárias, onde freqüentemente chega a formar povoamentos puros (LORENZI, 1992). A distribuição do pinheiro-do-paraná, no entanto, é mais ampla, pois em algumas áreas outras leguminosas substituem a bracatinga na sucessão ecológica secundária.

Sua distribuição natural ocorre nos locais de climas mais frios do Brasil, sendo encontrada do sul de Minas Gerais até os bordos da Serra Geral, no Rio Grande do Sul (PEDROSO; MATTOS, 1987). Mais especificamente, sua área de ocorrência natural se subdivide em duas: a área sul, contínua e compreendendo terras altas da Região Sul e do sul do Estado de São Paulo (Serra de Paranapiacaba); e a área norte, descontínua, somente encontrada em terras acima de 900 m de altitude (CARPANEZZI et al., 1988).

CARPANEZZI et al. (1988) descreveram o ambiente físico da região de ocorrência natural da bracatinga: o clima na maior parte da região é o Cfb, pelo sistema de Köppen. Esse tipo climático significa temperado chuvoso, constantemente úmido, com temperaturas médias do mês mais quente e mais frio inferiores a, respectivamente, 22 e 18°C. Pequenas áreas pertencem ao tipo climático Cfa, que difere do primeiro por ter a temperatura do mês mais quente entre 22 e 23°C. Pelo sistema de Holdridge, o tipo climático da área sul de ocorrência dessa espécie é submontano (tipo temperado) úmido ou superúmido.

A altitude varia entre 350 e 1630 m acima do nível do mar, sendo compensada pela latitude, ou seja, altitudes mais altas estão relacionadas a latitudes mais baixas e vice-versa. A temperatura média anual está compreendida na amplitude entre 13 e 18,5°C. A precipitação anual varia entre 1300 e 2500 mm, sem déficits hídricos. O número de geadas por ano vai de cinco a trinta. A espécie não é, de modo geral, resistente a geadas, principalmente antes de um ano de idade. Os solos geralmente são argilosos, bem drenados, ricos em matéria orgânica, ácidos e relativamente pouco desenvolvidos. Na maior parte dos casos, os bracatingais encontram-se em Cambissolos (CARPANEZZI et al., 1988).

A espécie pertence à família Leguminosae, subfamília Mimosoideae, segundo a classificação clássica, ou à família Mimosaceae, segundo a classificação de Cronquist. A árvore é perenifólia e tem tronco esbelto e reto, quando em maciços fechados, ou curto e ramificado em árvores isoladas. Frequentemente atinge alturas de 20 m e o DAP raramente atinge mais de 40 cm. É uma espécie de vida curta, e, por observações no campo, determinou-se o limite de vida individual em 30 anos de idade (CARPANEZZI et al., 1988).

Segundo CARPANEZZI et al. (1988), há três variedades de bracatinga na região circunvizinha a Curitiba: a bracatinga branca, a vermelha e a argentina (*Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*). As duas primeiras estão enquadradas na variedade botânica típica, ou bracatinga-comum (*Mimosa scabrella*). A bracatinga branca é a comum de madeira clara. A vermelha tem madeira mais dura, avermelhada e energética. E a argentina, apesar do nome, não é originária daquele país e, segundo os agricultores, têm crescimento mais rápido.

A produção de sementes férteis se inicia, geralmente, a partir dos três anos de idade, em árvores bem expostas ao sol. A primeira boa floração, no entanto, se dá aos quatro anos e meio, gerando sementes de boa qualidade aos cinco anos (CARPANEZZI et al., 1988). Portanto, se a idéia for a formação do próximo bracatingal a partir do banco de sementes do solo, a rotação do povoamento não deve ser menor que seis anos de idade.

Com relação aos sítios, o cultivo da bracatinga por diversas rotações, sem adubações de reposição, leva, gradativamente, à redução da sua qualidade. Essa piora ocorre devido, especialmente, à exportação de nutrientes durante a exploração e à posterior queima dos resíduos (BAGGIO; CARPANEZZI, 1997). Assim, sítios de má qualidade podem ser provocados pela intensa e antiga utilização da área por essa cultura.

As curvas de índice de sítio para a bracatinga, desenvolvidas por MACHADO et al. (1996), são, provavelmente, as primeiras já produzidas para a espécie e devem melhorar significativamente o conhecimento sobre os padrões de crescimento e produção, permitindo um manejo mais adequado.

A alta taxa de crescimento e as inúmeras possibilidades de usos, além da qualidade da madeira para uso energético, têm levado a bracatinga a ser experimentada em outras regiões e outros países. Além das bem sucedidas tentativas de implantação da bracatinga na América Central, especialmente na Costa Rica e Honduras (CATIE, 1986, 1990), a bracatinga tem sido testada nos seguintes países: México (MUSALÉM, 1995), Guatemala (STANDLEY; STEYERMARK, 1946), Argentina (VOLKART et al., 1991) e Ruanda (NIANG et al., 1994; 1995). NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1980) citou ainda outros países nos quais parcelas experimentais foram estabelecidas: Portugal, Zaire, Senegal, Etiópia, Espanha, Venezuela, El Salvador e Colômbia.

2.2 O SISTEMA DE MANEJO TRADICIONAL DA BRACATINGA

O sistema tradicional de produção da bracatinga, na Região Metropolitana de Curitiba, começou no início do século, objetivando a produção de lenha. Atualmente, esse continua sendo a principal utilização da sua madeira.

O sistema, conforme descrição de CARPANEZZI et al. (1988), é realizado em pequenas propriedades agrícolas, ocupando especialmente os terrenos mais acidentados. Mais de 80% das propriedades amostradas por BAGGIO et al. (1986) e exatamente 80% das amostradas por ROCHADELLI (1997) tinham áreas menores que 50 ha. Apesar da sua importância, devido à facilidade de manejo e rentabilidade, a produção de lenha só é a principal atividade em 16% das propriedades. O restante subsiste da agricultura (79%) e pecuária (5%), segundo mesma pesquisa de BAGGIO et al. (1986). A área de bracatinga, em geral, não ultrapassa 20 ha por propriedade. ROCHADELLI (1997), que pesquisou propriedades na região de “Antinhas”, no município de Bocaiúva do Sul, próximas à empresa Cal Cem, encontrou resultados diferentes, com propriedades, de um modo geral, altamente especializadas no cultivo da bracatinga. O autor acreditou que essa especialização fosse uma função da proximidade das grandes “caieiras”, mas também citou numa crescente especialização dos produtores da região.

Mesmo quando a área de bracatinga é pequena, sua importância é grande, pois ela interage com a produção agrícola através da consorciação com milho e feijão, além de participar na apicultura, olericultura (produção de varas para trepadeiras), pecuária e na otimização da utilização da mão-de-obra. O produtor espera do bracingal uma fonte de renda segura, com pouco trabalho.

Para a implantação de plantios novos, o método de semeadura direta é o mais utilizado (94% dos entrevistados de BAGGIO et al., 1986). A quebra da dormência das sementes é feita por rápida imersão em água fervente, e a semeadura é realizada com 3 a 10 sementes por cova. Os espaçamentos dependem das culturas agrícolas, sendo os mais comuns os mesmos do milho (1 x 1; 1,2 x 0,6 e 1 x 0,8 m), ou seja, 10 mil, 13,9 mil e 12,5 mil covas/ha. As culturas agrícolas mais comuns para utilização em consórcio com a bracatinga são o milho e o feijão, somente no primeiro ano. Durante esse período são realizadas capinas (em geral duas, 30 e 60 dias após a semeadura) e controle das formigas cortadeiras, mas após a colheita das culturas agrícolas, nenhum cuidado especial é dispensado à bracatinga.

Após o corte do bracatingal, os resíduos da exploração são queimados, causando a quebra de dormência das sementes armazenadas no solo e a conseqüente regeneração natural da floresta. Muitas vezes, o bracatingal denso só se forma nesse segundo ciclo. Após a queima, que é realizada na primavera para impedir que as plântulas sofram com geadas, são feitos novos cultivos agrícolas. Durante as capinas dessas culturas (30 e 60 dias após a semeadura), aproveita-se para retirar o excesso de mudas de bracatinga. Após a colheita do milho, o número de bracatingas é alto e variável, e as plantas são dispostas irregularmente. Bracatingais com um ano de idade apresentam entre 10 e 40 mil plantas/ha (CARPANEZZI et al., 1988; BAGGIO et al., 1986).

De modo geral, não há raleio depois da colheita agrícola, estabelecendo-se forte competição e, conseqüentemente, alta mortalidade até a idade de quatro a cinco anos, quando o número de árvores/ha estabiliza. Entre os seis e oito anos de idade (época mais comum para o corte), a densidade usual de bracatinga é entre 1400 e 3000 árvores/ha, para DAP acima de 5 cm. A tabela 1 mostra densidades de bracatingais tradicionais, a diferentes idades.

TABELA 1 - NÚMERO DE ÁRVORES VIVAS DE BRACATINGA/HA EM POVOAMENTOS MANEJADOS NO SISTEMA TRADICIONAL

MUNICÍPIO	Proprietário	Idade (anos)	DAP > 5 cm	DAP < 5 cm	Total
Colombo-PR	Keppe	4,5	2.400	907	3.307
Bocaiúva do Sul-PR	Schina	5,5	2.228	870	3.098
Colombo-PR	Martini	6,5	2.129	167	2.296
Colombo-PR	Rosenente	7,0	2.636	611	3.247
Campina Grande do Sul-PR	Taverna	7,0	2.469	167	2.636
Bocaiúva do Sul-PR	Schina	9,5	1.691	89	1.780
Colombo-PR	Renato	12	815	0	815
Campina Grande do Sul-PR	Machado	18	509	0	509

Fonte: CARPANEZZI et al., 1988.

A exploração dos bracatingais, tradicionalmente, ocorre entre os seis e os oito anos de idade. Diversos trabalhos científicos indicam que esta faixa de idade realmente é a mais vantajosa para se fazer o corte (CARPANEZZI et al., 1988; HOSOKAWA et al., 1981; CAMPOS, 1986, GRAÇA, 1987). ROCHADELLI (1997), no entanto, sugeriu a antecipação do corte para cinco anos, tendo como critério a antecipação da renda bruta.

2.3 A DENSIDADE INICIAL

Um regime de manejo pode ser definido como uma seqüência especificada de tratamentos aplicados a um povoamento, durante todo o período de sua vida (OPIE et al., 1978; CLUTTER et al., 1983). Podem-se incluir aí preparo da terra, seleção de espécies, espaçamento e disposição inicial das mudas, fertilização, controle de ervas daninhas, desbastes, podas e rotação final, entre outras atividades. O regime de manejo a que determinado povoamento vai ser submetido depende basicamente dos recursos disponíveis e do seu objetivo de produção, ou seja, do uso final da madeira dele proveniente (MENDES; PETLA; TONON, 1994).

A densidade inicial de um povoamento florestal certamente é um dos itens mais importantes de um regime de manejo. Segundo BURGER (1980), "um dos principais objetivos do Manejo é dirigir a produção do povoamento de tal maneira que seja aproveitada ao máximo a capacidade do sítio e que, de outro lado, as árvores tenham condições de alcançar as dimensões desejadas". A densidade inicial, no caso de povoamentos de bracatinga, é a principal forma de se atingir este objetivo.

Densidade de um povoamento é um termo quantitativo que expressa o grau de ocupação da área por fustes, em termos de área basal, número de árvores ou volume por unidade de área, ou ainda através de um índice de densidade (AVERY e BURKHART, 1983; HUSCH, MILLER e BEERS, 1982; CLUTTER et al., 1983).

A princípio, a escolha da densidade inicial é uma função da qualidade de sítio e do objetivo de manejo (SCHÖNAU e COETZEE, 1989; MENDES; PETLA; TONON, 1994), fatores aos quais alguns autores ainda acrescentaram o conhecimento da idade de rotação (CREMER; CROMER; FLORENCE, 1978). SIMÕES et al. (1981), no entanto, afirmaram que outros importantes envoltimentos ecológicos/silviculturais têm sido esquecidos na tomada dessa decisão.

No caso da bracatinga, por exemplo, mais um fator deve ser considerado: a segunda rotação de um bracatingal é normalmente estabelecida por regeneração via sementes. Por isso a densidade ideal de um povoamento dessa espécie deve combinar dois objetivos: produção lenhosa e regeneração. Assim, a constituição de um bom banco de sementes no solo deve ser uma das principais metas da implantação (CARPANEZZI et al., 1988) e a eficiência deste depende da quantidade e qualidade das sementes, bem como das condições para a emergência e estabelecimento das plântulas (DIAS et al., 1981).

Tradicionalmente, a densidade ótima para a implantação de novos talhões de bracatinga por semeadura direta deve ficar entre 3 e 5 mil covas com plantas por hectare, contadas aos 4-6 meses. Quando se utiliza mudas, é comum usar-se 2 a 3 m² por planta, sob condições normais de solos inférteis, controle insuficiente de ervas daninhas e sem adubação. Sob circunstâncias ótimas, recomenda-se 4 m²/planta. No consórcio do sistema agroflorestal tradicional, os espaçamentos recomendados são de 2 x 1,2 m ou de 1,5 x 1,2 m, considerando-se a distância entre as fileiras de milho de 1,2 m (CARPANEZZI et al., 1988).

Para povoamentos de regeneração natural por queima, a densidade inicial é muito alta (entre 10 e 40 mil plantas/ha, conforme mencionado anteriormente). Esse número elevado inclui muitas plantas pequenas, que não chegarão à idade do corte final, mas que prejudicam o crescimento daquelas que alcançarão a idade de corte, competindo por luz, água e nutrientes durante vários anos. Assim, o raleamento após o cultivo agrícola é recomendado, por possibilitar aumentos em produtividade, e merece estudos mais aprofundados.

MESA REDONDA (1981), recomendou desbaste para 1,5 a 3 mil plantas/ha, quando essas atingirem altura de 1,5 a 2 m. SEMINÁRIO SOBRE AGROSSILVICULTURA NO DESENVOLVIMENTO RURAL (1990), por sua vez, sugeriu que se deixassem 5 mil plantas/ha, após a segunda capina das culturas agrícolas. Segundo CARPANEZZI (1989), costumava-se indicar raleio para 6 mil plantas/ha, mas a experiência mostrou uma mortalidade ainda muito

grande. Assim, passou-se a recomendar o raleio para 4 mil plantas, a um ano de idade, mas somente em sítios bons, onde ocorreria um rápido fechamento da copa após a intervenção. Esse raleio, realizado em sítios fracos, propiciaria o aparecimento e desenvolvimento de invasoras e a competição com as plântulas de bracatinga. Observações no campo já mostraram que a competição interespecífica parece ser mais prejudicial ao crescimento da bracatinga do que a intra-específica. Para os sítios piores, portanto, passou-se a aconselhar o raleio no segundo ano (entre 20 e 24 meses de idade), para 3 mil plantas/ha. Esse raleio mais tardio permitiria ainda a utilização das árvores eliminadas como varas para olericultura.

Quando não se faz consorciação com culturas agrícolas na fase inicial, os bracatingais resultam muito densos. Pressupõe-se que a produtividade caia, em função da competição muito forte.

Na Costa Rica, onde planta-se a bracatinga principalmente como sombreadora para café, em solos férteis, bem drenados, com fertilizações periódicas e controle adequado de doenças e pragas, os espaçamentos de plantio variam entre 3,4 x 4,5 m e 6 x 6 m (respectivamente, 650 e 278 mudas/ha), dependendo do espaçamento do café. Em densidades tão baixas, um manejo intensivo torna-se necessário, com a realização de podas para aumentar a luminosidade do cafezal (ARCE; BAUER, 1985; PICADO, 1985).

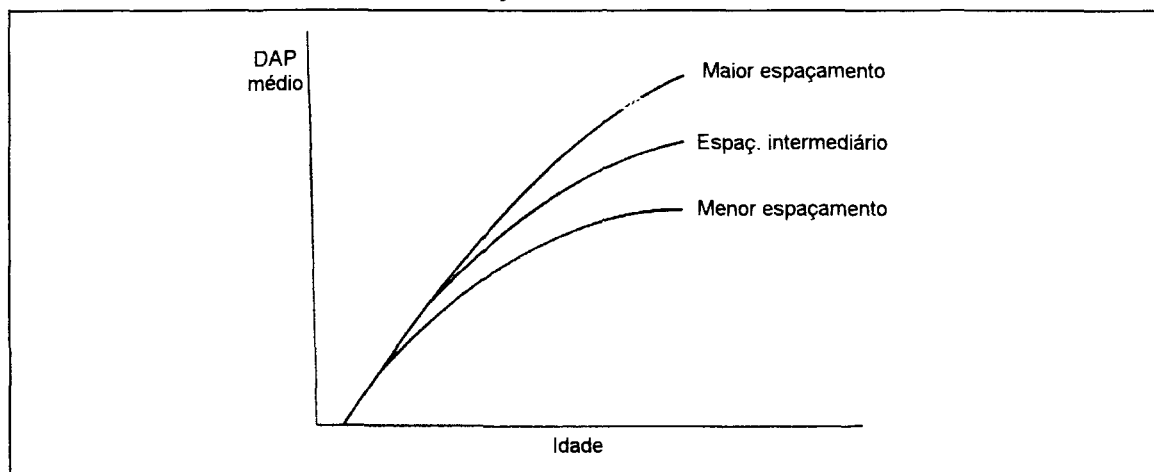
2.4 O EFEITO DA DENSIDADE INICIAL SOBRE AS DIVERSAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

Como regra geral, pode-se dizer que, dentro de certos limites, quanto maior o espaço disponível para o seu crescimento, mais rápido uma árvore vai crescer (CLUTTER et al., 1983). Especificamente para a bracatinga, parece que a competição com outras espécies é mais prejudicial do que a competição intra-específica (CARPANEZZI, 1988). O efeito da densidade inicial, no entanto, pode ser diferente nas diversas variáveis dendrométricas.

O DAP é, talvez, a variável mais importante e confiável na área de manejo florestal, por 4 motivos principais: a) por ser de fácil medição; b) por apresentar alta correlação com o volume e servir de base para vários outros cálculos; c) porque a distribuição diamétrica de uma floresta mostra sua estrutura; d) porque gera o valor da área basal por unidade de área, que é um parâmetro muito importante para a caracterização da densidade do povoamento (LOETSCH, ZÖHRER e HALLER, 1973).

A influência do espaçamento é muito mais significativa no crescimento em diâmetro do que no da altura (BURGER, 1980). CLUTTER et al. (1983) afirmaram que povoamentos com espaçamentos maiores apresentam diâmetros médios maiores que povoamentos similares com espaçamentos menores. A figura 1 ilustra esse efeito geral da densidade no diâmetro médio de uma floresta.

FIGURA 1 - EVOLUÇÃO DO DAP DE PLANTAÇÕES ESTABELECIDAS COM DIFERENTES ESPAÇAMENTOS (CLUTTER et al., 1983)

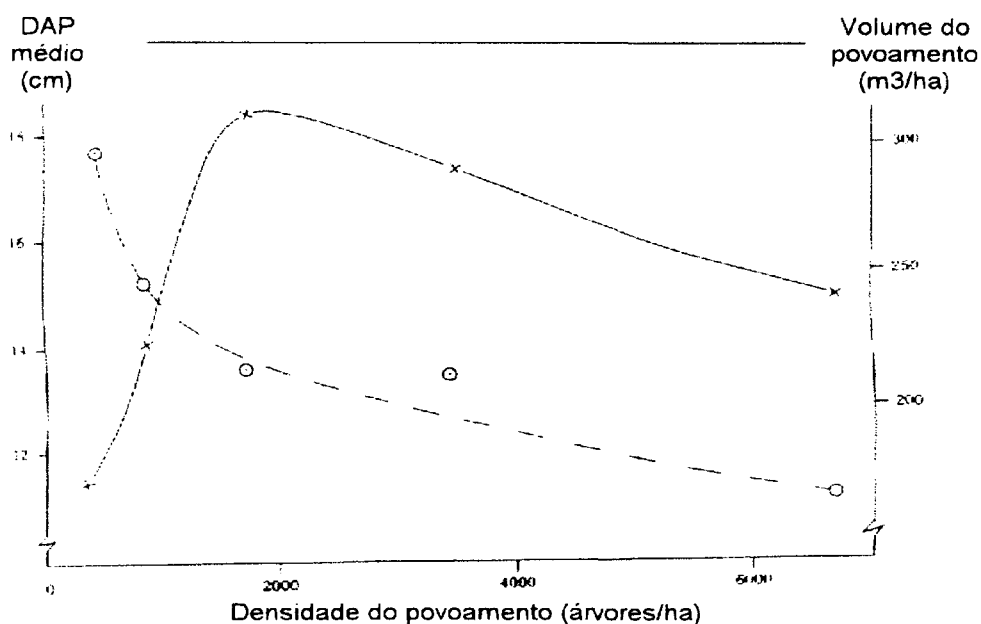


AVERY e BURKHART (1983) explicaram esse comportamento argumentando que espaçamentos mais amplos proporcionam mais espaço para o crescimento das raízes e copas, o que resulta num maior crescimento em diâmetro. A resposta a aumentos no espaço de crescimento, resultantes de desbastes ou de densidades iniciais menores, depende da espécie, idade, qualidade de sítio e posição fitossociológica (CLUTTER et al. (1983) e OPIE et al. (1978)). Assim, árvores mais velhas com copas muito reduzidas não

respondem tanto quanto árvores mais jovens com diâmetros semelhantes. Da mesma forma, árvores dominantes, que haviam sido menos afetadas pela competição, respondem menos em termos de taxa relativa de crescimento em diâmetro do que árvores menores do mesmo povoamento.

A figura 2 mostra a relação, em uma determinada idade, entre o diâmetro de fuste, volume comercial e densidade do povoamento para *Eucalyptus regnans* (CREMER; CROMER; FLORENCE, 1978).

FIGURA 2 - EVOLUÇÃO DO DAP E VOLUME DO POVOAMENTO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES DENSIDADES (CREMER; CROMER; FLORENCE, 1978)



SCHÖNAU e COETZEE (1989) citaram vários autores que confirmaram a relação demonstrada nas figuras 1 e 2. Para *Eucalyptus grandis* foram citados VAN LAAR (1961), com densidades entre 600 e 1600 árvores/ha, SCHÖNAU (1974), que trabalhou com densidades entre 1200 e 1700 e MESKIMEM e FRANKLIN (1978), para densidades de 800 a 3 mil árvores/ha. OPIE et al. (1984) ratificaram a relação para *E. pilularis* entre densidades de 121 e 1249 árvores/ha; LOHANI (1980) a confirmou para *E. tereticornis*, *E.*

crebra, *E. botryoides*, *E. rudis* e *E. saligna* usando de 1250 a 5333 árvores/ha e SIMÕES et al. (1983) para *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. propinqua* e *E. saligna* com densidades de 1667 e 2222 árvores/ha.

REZENDE et al. (1982), trabalhando com *E. grandis* e *E. saligna* em densidades entre 1,7 mil e 5 mil, obtiveram diferenças significativas ao nível de 5%, para ambas as espécies. Resultado semelhante foi obtido por SIMÕES et al. (1983) para *E. urophylla*, *E. grandis*, *E. propinqua* e *E. saligna*. Os diâmetros apresentaram comportamento diretamente proporcional ao espaçamento. Esses resultados foram ratificados para *Araucaria angustifolia*, por SPELTZ et al. (1980), aos nove anos de idade, com densidades variando entre 1111 e 4444 árvores/ha e por CRECHI (1996), com medições até a idade de 24 anos e com densidades de 625 a 4444 árvores/ha.

SCHÖNAU e COETZEE (1989) citaram ainda um resultado que não confirma a regra geral ilustrada acima: LADRACH (1983) não encontrou essa relação inversa entre DAP médio e densidade para *E. camaldulensis*. Os autores alertaram para o fato de que essa espécie tem hábitos de crescimento particulares e que o autor amostrou árvores de bordadura.

A área basal (G) é fortemente correlacionada com o DAP e, de modo geral, pode-se dizer que G aumenta com o aumento da densidade inicial do povoamento (OPIE, 1978).

A altura é a segunda variável mais importante para o manejo florestal. Ela é importante para cálculos de volume e altamente correlacionada com a qualidade do sítio, sendo por isso o parâmetro dendrométrico mais utilizado como indicador dessa característica, quando usada em combinação com a idade. A altura não é tão influenciada pela densidade inicial e tratamentos silviculturais.

A altura dominante é a variável mais usada na classificação de sítio, por ser ainda menos afetada por tratamentos silviculturais que a altura média. Altura dominante, tradicionalmente, é considerada como sendo a altura média

das 100 árvores mais grossas por hectare. Embora HOSOKAWA e SOUZA (1987) tenham preferido adotar o critério de que são árvores dominantes aquelas com DAP's maiores que a média mais 2 desvios padrões (o que corrige as diferentes variâncias de diversas parcelas), o critério tradicional continua sendo bastante utilizado.

CLUTTER et al. (1983) confirmaram que evidências empíricas de experimentos de desbastes indicam que, para muitas espécies comerciais importantes, o crescimento em altura não é muito afetado pela manipulação da densidade do talhão. A altura média pode ser alterada por um desbaste, dependendo do método usado, mas, dentro de certos limites amplos de densidade, o crescimento em altura parece não se alterar, especialmente quando a comparação se restringe a árvores dominantes e codominantes.

Os mesmos autores atentaram para o fato que o ponto até o qual a generalização pode ser aplicada depende da espécie. Assim, o crescimento em altura de muitas folhosas é significativamente menor em densidades mais baixas do que em densidades médias ou elevadas. Por outro lado, povoamentos naturais e com alta densidade de "western hemlock" (*Tsuga heterophylla*) e "lodgepole pine" (*Pinus contorta* var. *latifolia*) apresentaram crescimento em altura altamente reduzido, e alguns experimentos de espaçamento com coníferas de rápido crescimento como "Douglas-fir" (*Pseudotsuga menziesii*) e "slash pine" (*Pinus elliottii*) mostraram crescimento em altura significativamente maior em densidades menores.

Para eucaliptos, OPIE et al. (1978) consideraram que uma redução no espaçamento, isto é, um aumento na densidade inicial, geralmente reduz a altura média, mas não necessariamente a altura dominante. Após citar diversos experimentos com eucaliptos, SCHÖNAU e COETZEE (1989) concluíram que, para estoques comerciais entre 1 e 2 mil árvores/ha, a altura dominante não muda, mas a altura média aumenta com a diminuição da densidade do talhão e que essa relação é influenciada pela idade, espécie e qualidade de sítio. Essa conclusão é ratificada pelos resultados de SIMÕES et al. (1983).

REZENDE et al. (1980) não encontraram diferença significativa entre as alturas médias totais aos 3,5 anos de idade, em um experimento com *Eucalyptus grandis* e *E. saligna*, com 16 espaçamentos e densidades variando entre 1,7 e 5 mil (fora, portanto, da amplitude da generalização de SCHÖNAU e COETZEE, 1989).

SPELTZ et al. (1980) testaram dez espaçamentos diferentes para *Araucaria angustifolia*, com densidades variando entre 1111 e 4444 árvores/ha. Após medição aos nove anos de idade, também não detectaram diferença significativa na altura média causada pelos tratamentos. CRECHI (1996), trabalhando com a mesma espécie, encontrou resultados contraditórios. Comparando dez densidades entre 625 e 4444 árvores/ha, o autor obteve resultados indicando diferenças significativas entre as alturas dos tratamentos para oito das nove medições realizadas no experimento, até a idade de 24 anos.

O volume é, em última instância, o objetivo maior de um povoamento florestal. É o resultado conjunto das demais variáveis dendrométricas. De modo geral, pode-se afirmar que, para povoamentos eqüiâneos, quanto maior a densidade inicial (dentro de certos limites), maior o crescimento líquido em área basal e volume total, até uma certa idade. Resultados típicos de experimentos de espaçamentos aparecem nas figuras 3 e 4 (CLUTTER et al., 1983).

FIGURA 3 - EFEITO DA DENSIDADE DO POVOAMENTO SOBRE A TAXA DE CRESCIMENTO EM EXPERIMENTOS DE ESPAÇAMENTO PARA FLORESTAS EQUÎÂNEAS (CLUTTER et al., 1983)

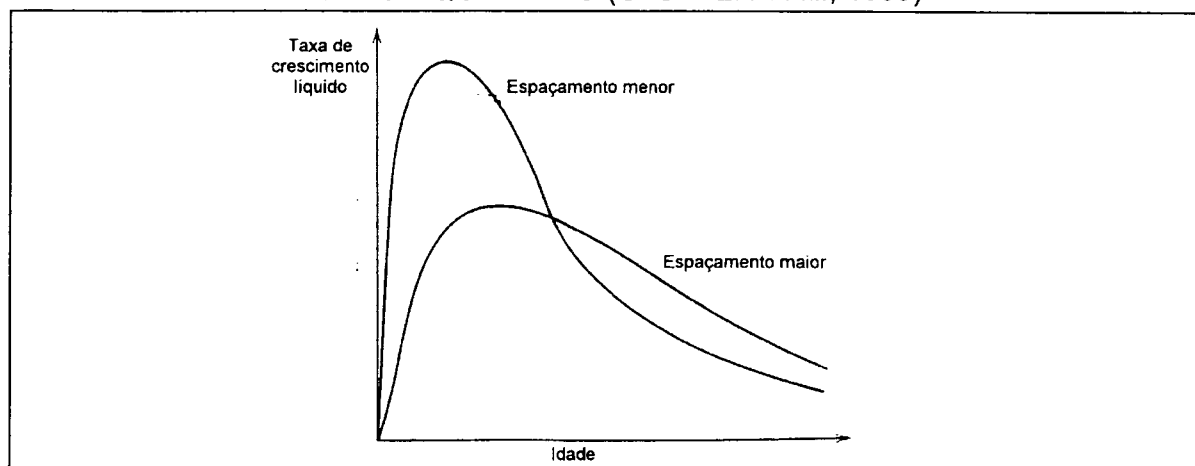
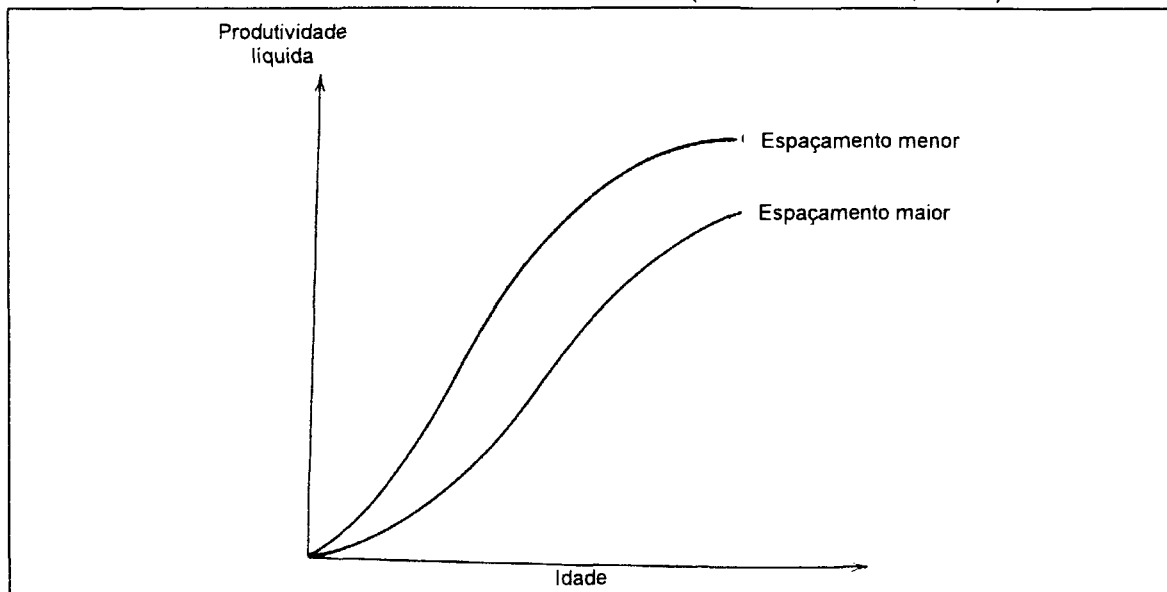


FIGURA 4 - EFEITO DA DENSIDADE INICIAL DO POVOAMENTO SOBRE A PRODUTIVIDADE, EM EXPERIMENTOS DE ESPAÇAMENTO PARA FLORESTAS EQUIÂNEAS (CLUTTER et al., 1983)



Pode-se notar nas figuras 3 e 4 que o ICA dos povoamentos com maior densidade, ou menor espaçamento, culmina mais cedo.

SPELTZ et al. (1980), no já citado experimento de espaçamentos para *Araucaria angustifolia*, confirmaram a teoria sobre a relação volume/ha e densidade inicial: o volume diminuiu à medida que o espaçamento aumentou. REZENDE et al. (1980), no também já mencionado experimento com *E. grandis* e *E. saligna*, ratificaram a conclusão para a primeira espécie. Para *E. saligna*, no entanto, encontraram volumes máximos para as densidades iniciais em torno de 4 mil plantas/ha, quando a maior densidade do experimento era 5 mil. CRECHI (1996), em seu experimento com *A. angustifolia*, também encontrou os maiores volumes por unidade de área nas densidades iniciais intermediárias, entre 1111 e 2500 árvores/ha, confirmando a figura 2.

Para a bracatinga, CARPANEZZI et al. (1988) afirmaram que o controle da densidade, através de cortes seletivos, é essencial como fator determinante da produtividade.

Os resultados apresentados na tabela 2 são resultantes de um experimento cujo objetivo foi testar a introdução da bracatinga em um sistema agroflorestal de renques intercalares com culturas agrícolas. Os tratamentos incluíam renques com 1, 2 ou 3 linhas de árvores com espaçamentos de 1 e 2 metros na linha e distância entre renques fixada em 20 metros. Nos dois primeiros anos plantou-se arroz e no terceiro soja, e a medição das árvores foi feita ao final de três anos (BAGGIO, GRAÇA, OLIVEIRA, 1992).

TABELA 2 - DAP, ALTURA E VOLUME DE LENHA (VALORES MÉDIOS POR HECTARE) DE BRACATINGA, AOS TRÊS ANOS DE IDADE

Tratamentos		Árvs./ha	DAP (cm)	H (m)	Vol. lenha (st)
Espaçamento	Nº de linhas				
1 m	1	500	5,02	5,37	65,50
	2	1000	4,35	5,16	81,25
	3	1500	4,30	5,21	112,00
2 m	1	250	5,05	4,88	50,25
	2	500	4,82	4,81	61,25
	3	750	4,77	4,94	73,25

FONTE: BAGGIO; GRAÇA; OLIVEIRA, 1992.

Os autores afirmaram que, conforme o previsto, a produção de lenha no espaçamento de 1 m na linha foi superior ao de 2 m, em média, ao nível de significância de 1% para o teste F, para qualquer número de linhas. O espaçamento de 2 m produziu valores maiores de DAP e para altura aconteceu o contrário.

2.5 O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO FLORESTAL

Crescimento é o aumento (incremento) ocorrido em uma determinada variável da árvore ou do povoamento, durante um certo período de tempo (AVERY; BURKHART, 1983). Produção é a quantidade total existente em um certo momento. Definidos os termos, pode-se dizer que o conhecimento do

crescimento de uma floresta e, conseqüentemente, de sua produção é indispensável para um manejo racional da mesma. Só se pode manejar uma floresta quando se sabe o quanto ela está produzindo.

O crescimento e a produção florestal são basicamente funções do tempo. Além desse fator, o crescimento de uma árvore e, conseqüentemente, o desenvolvimento de uma floresta são influenciados ainda pelas características do sítio (fatores climáticos, edáficos e topográficos) e pela competição (com outras árvores, plantas herbáceas ou animais).

O aumento nas dimensões de uma árvore ou de um povoamento deve ser considerado pelo período de tempo durante o qual o aumento aconteceu. Esse período pode ser um dia, um mês, um ano, uma década e assim por diante. Quando o período é o ano, o incremento, chamado incremento corrente anual (ICA), é a diferença entre as dimensões medidas no começo e o final de um ano de crescimento. Estas dimensões podem ser qualquer característica mensurável da árvore ou povoamento: DAP médio, altura média, volume médio, volume/ha, área basal/ha, entre outras. A média de crescimento anual para um período de n anos é chamada incremento periódico anual (IPA) e é dado pela diferença entre as dimensões tomadas no início e no final do período dividida pelo número de anos do mesmo. O crescimento médio anual para qualquer idade, chamado incremento médio anual (IMA), é encontrado dividindo-se o tamanho acumulado pela idade (HUSCH; MILLER; BEERS, 1982). A figura 3 mostra o efeito da densidade do povoamento na curva do ICA.

Quando o tamanho de qualquer organismo vivo é plotado em relação à evolução da sua idade, tem-se uma curva de produção ou curva de crescimento acumulado. Caracteristicamente, essa curva apresenta um formato sigmoidal, que mostra um crescimento acelerado a princípio, passa por um ponto de inflexão a partir do qual o crescimento torna-se cada vez mais lento, até estabilizar, atingindo um valor assintótico. O local onde acontece a estabilização é conhecido como ponto de tangência, porque coincide com o ponto onde a reta saída da origem tangencia a curva. A primeira fase, até o

ponto de inflexão, é chamada fase juvenil; a segunda, entre o ponto de inflexão e a estabilização, é a fase adulta ou de maturidade, e a última é a chamada fase de senescência.

A figura 5 mostra as típicas curvas de produção e de ICA, que, funcionalmente, corresponde à primeira derivada da curva de produção. A figura 6 mostra a mesma curva de crescimento acumulado para crescimento em altura.

FIGURA 5 - CURVA DE CRESCIMENTO ACUMULADO (a) E TAXA DE CRESCIMENTO (b) (HUSCH et al., 1982)

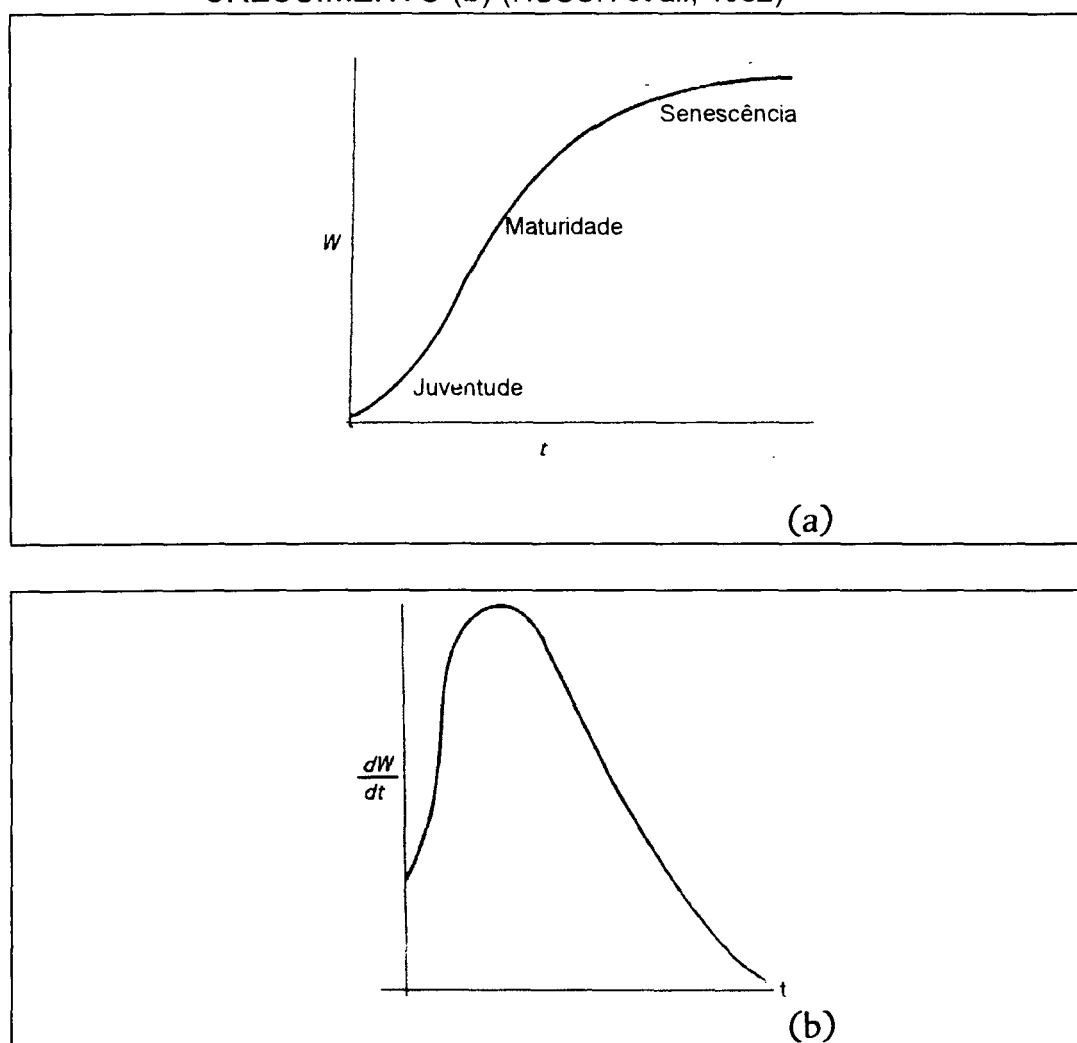
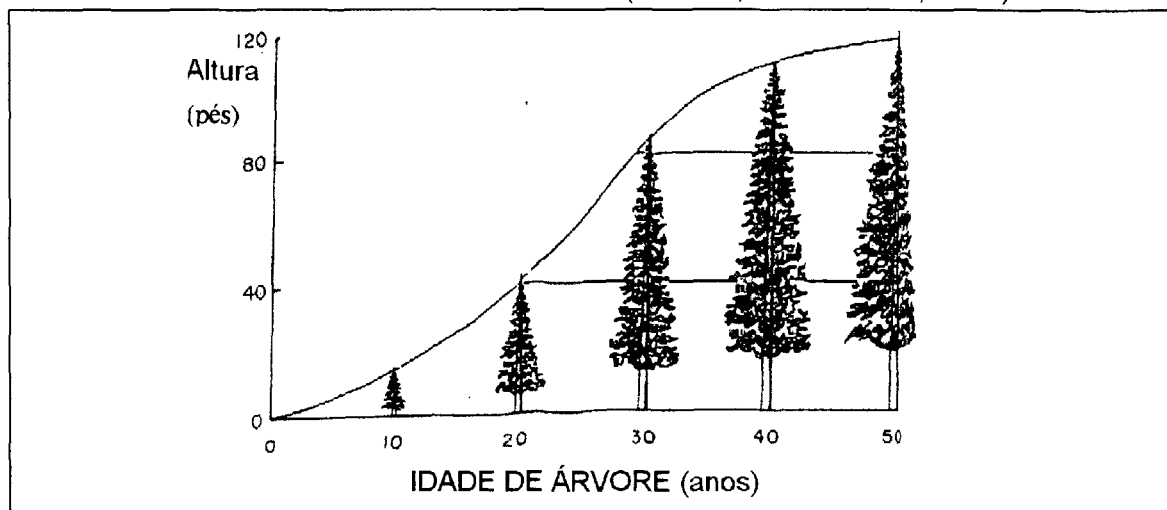


FIGURA 6 - PADRÃO DE CRESCIMENTO EM ALTURA DE MUITAS ESPÉCIES DE CONÍFERAS (AVERY; BURKHART, 1983)



A idade em que os pontos de inflexão e de tangência (onde a curva se estabiliza) são alcançados dependem da espécie, sítio e condições do meio. É de se esperar que para a bracatinga, que cresce extremamente rápido e tem um ciclo de vida curto, o processo todo se realize em muito pouco tempo.

2.6 O CRESCIMENTO E A PRODUÇÃO DA BRACATINGA

MATTOS e MATTOS (1980) afirmaram que a bracatinga é uma das espécies brasileiras de crescimento mais rápido. A produtividade média obtida pelos pequenos produtores da Região Metropolitana de Curitiba, no entanto, é baixa, devido às práticas de cultivo, às condições de fertilidade e topografia do terreno (CARPANEZZI et al., 1997). Essa baixa produtividade é compensada pelos baixos custos de implantação e manutenção, aliados à tradição do cultivo. Ainda assim, a taxa de crescimento da espécie tem sido o principal atrativo para a sua experimentação em outros países.

Segundo CARPANEZZI et al. (1988), quando novos plantios são estabelecidos por mudas, o crescimento é muito vigoroso nos dois primeiros anos, diminuindo em seguida. Esses autores afirmaram que, em sítios de alta

produtividade, como em Concórdia-SC, o IMA em altura e diâmetro atingem 4,5 m e 4,5 cm, respectivamente, no segundo ano de idade. Em sítios piores para o desenvolvimento dessa espécie, como em Colombo-PR, as taxas anuais são de 1,5 a 2,0 m em altura e 1,8 a 2,2 cm em DAP. A tabela 3 mostra alguns exemplos de plantios experimentais.

TABELA 3 - COMPORTAMENTO DA BRACATINGA EM PLANTIOS POR MUDAS NO PARANÁ E SANTA CATARINA

Local	Idade (anos)	Densidade	Plantas				IMA		
			vivas (%)	h (m)	DAP (cm)	G (m ² /ha)	h (m)	DAP (cm)	vol. (m ³)
Campo Mourão-PR	5	1111	85	11,47	12,3	11,73	2,29	2,46	13,71
Campo Mourão-PR	8	1111	62	12,34	15,3	13,13	1,54	1,91	10,69
Cascavel-PR	3	1667	93,6	9,86	10,9	15,09	3,29	3,63	24,45
Cascavel-PR	6	1667	15,2	9,99	13,2	4,69	1,66	2,20	4,04
Cianorte-PR	2,4	1667	28	5,79	14,9	7,41	2,48	6,39	9,61
Colombo-PR	5	1667	70	9,00	11,3	12,99	1,80	2,26	12,45
Colombo-PR	5	1333	75	8,19	9,0	8,65	1,64	1,80	7,83
Colombo-PR	7	1667	57,1	9,17	14,0	11,75	1,34	2,05	8,38
Concórdia-SC	4	1667	94	13,26	12,0	19,04	3,31	3,00	31,00
Concórdia-SC	4	1667	-	13,99	12,3	-	3,50	3,08	36,38
Dois Vizinhos-PR	5	2500	91,7	-	-	-	-	-	25,64
Irati-PR	3	1667	74,7	6,23	7,9	6,70	2,08	2,63	7,32
Paranaguá-PR	5	1667	73,6	6,77	7,8	6,78	1,35	1,56	5,35
Ponta Grossa-PR	4,8	1667	68,8	11,51	15,0	20,76	2,47	3,20	25,00
Quedas do Iguaçu-PR	2	1111	80	5,07	6,8	5,63	2,53	3,40	8,45
Toledo-PR	4	1667	86	10,22	9,6	10,97	2,55	2,40	14,23

Fonte: CARPANEZZI et al. (1988)

Observações: Campo Mourão, Cascavel, Cianorte, Dois Vizinhos, Paranaguá, Quedas do Iguaçu e Toledo não são áreas de ocorrência natural da espécie; a primeira parcela de Colombo teve adubação; o volume individual foi calculado pela equação $v = 0,3879.DAP^2.h$

CARVALHO (1981a) também obteve dados de plantios por mudas. Em experimentos localizados em diversas cidades do Paraná, o autor obteve os dados mostrados na tabela 4.

TABELA 4 - DADOS DE PLANTIOS EXPERIMENTAIS DE BRACATINGA

Local	Densidade inicial	Idade (meses)	Sobrevivência (%)	h (m)	DAP (cm)
Colombo (a)	1667	8	92,0	1,53	----
Colombo (b)	1667	8	98,0	2,11	----
Guarapuava	1667	7	84,8	1,41	----
Cascavel	1667	7	99,2	2,76	----
Campo Mourão	1111	21	97,0	6,81	7,5

Fonte: CARVALHO (1981a)

Observação: Colombo (a) trata-se de um tratamento sem adubação, enquanto que Colombo (b) foi adubado.

Segundo CARPANEZZI et al. (1988), em talhões de bracatinga estabelecidos por mudas, o IMA em volume de apresentou as seguintes variações:

* entre $14 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, aos quatro anos, a $25,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, aos cinco anos, em sítios de boa qualidade, em áreas de ocorrência natural, espaçamento $3 \times 2 \text{ m}$;

* entre $25 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, aos 4,8 anos, a $36 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, aos quatro anos, fora da área de ocorrência natural;

* entre 8,4, aos sete anos, sem adubação, e $12,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, aos cinco anos, com adubação, em Colombo, espaçamento $3 \times 2 \text{ m}$, em Cambissolo arenoso.

Para bracatingais tradicionais, estabelecidos por regeneração natural (queima) e com cultivo agrícola na fase inicial, os mesmos autores adotaram como média uma produtividade de $12,5 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$. Esse valor variou entre 7 e $15 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ e serve para a região próxima a Curitiba, com corte entre seis e oito anos de idade e com o volume calculado pela equação desenvolvida por AHRENS (1981). A tabela 5 mostra estimativas de produtividade de bracatingais do sistema tradicional.

TABELA 5 - INVENTÁRIO DE BRACATINGAIS TRADICIONAIS (ÁRVORES VIVAS, DAP > 5 cm)

Município	Proprietário	Idade (anos)	N/ha	DAP (cm)	h (m)	vol. (m^3/ha)
Colombo-PR	Keppe	4,5	2400	7,3	10,73	55,59
Bocaiúva do Sul-PR	Schina	5,5	2228	7,4	9,95	53,42
Colombo-PR	Martini	6,5	2129	9,0	12,57	90,34
Colombo-PR	Rosenente	7,0	2636	6,9	9,27	48,25
Campina Grande do Sul-PR	Taverna	7,0	2469	8,3	11,62	95,25
Bocaiúva do Sul-PR	Costacurta	7,5	1426	10,7	12,53	86,84
Bocaiúva do Sul-PR	Schina	9,5	1691	11,3	15,20	135,90
Colombo-PR	Renato	12,0	815	13,5	13,60	93,54
Campina Grande do Sul-PR	Machado	18,0	509	19,5	17,77	149,93

Fonte: CARPANEZZI et al. (1988)

Comparando-se as tabelas 3 e 5, pode-se perceber a superioridade de crescimento dos povoamentos implantados através de mudas, o que provavelmente seja uma interação de dois fatores: as próprias mudas, que propiciam maior crescimento inicial e são mais resistentes a períodos secos, e a menor densidade inicial. De fato, SEMINÁRIO... (1990) afirmou que a diferença em volume entre parcelas de densidade semelhante estabelecidas por mudas ou por semeadura direta não ultrapassou 15% e concluiu que a densidade influenciou o crescimento volumétrico muito mais que a forma de implantação. Além disso, segundo GRAÇA e MENDES (1987) o plantio por mudas revelou-se anti-econômico, não sendo recomendável para pequenos produtores.

Além da menor densidade inicial e do estabelecimento por mudas, condições de clima, ambiente e manejo mais favoráveis têm permitido a obtenção de produções maiores. Por exemplo, CATIE (1990) afirmou que em diversos sítios da América Central atingiu-se até 24,8 cm de DAP aos cinco anos, um valor impensável no Brasil. A produtividade variou entre 20,3 e 36,4 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. CATIE (1990) cita como causa para essa grande diferença o fato de, na maioria dos casos, na América Central a bracatinga ser utilizada para sombrear cafezais, e, conseqüentemente, receber grandes doses de fertilizantes. A essa causa pode-se acrescentar outras hipóteses: as plantações da América Central são todas implantadas, em geral com mudas que muitas vezes já são fertilizadas; densidades de plantação mais baixas que o sistema tradicional brasileiro; a ausência de pragas (embora quatro espécies tenham sido reportadas, nenhuma tem importância econômica); e a diferença climática, com temperatura média anual significativamente mais alta (entre 19,8 e 27,5°C), mas, em compensação, com cinco meses de déficit hídrico. No mesmo país, PICADO encontrou IMAs de 4,1 a 4,6 m em altura e de 4,9 a 6,2 cm em DAP, para povoamentos com densidade inicial de 635 árvores/ha e sem manejo.

Outros exemplos de alta produtividade podem ser mencionados, como o plantio em Concórdia, cujos resultados estão apresentados na tabela 3 e cuja produtividade chegou a 36 $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$. BAGGIO et al. (1992) obtiveram um

valor de $37 \text{ st.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, por medição do volume estéreo até 3 cm de diâmetro, aos três anos de idade, num tratamento de 1500 plantas/ha (vide tabela 2). ARCE e BAUER (1985) citaram produtividade média de $45,7 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$, aos dois anos, com volume estimado por equação própria, até o diâmetro de 2,5 cm. VOLKART e colaboradores obtiveram produtividade de $86 \text{ m}^3.\text{ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ de volume cilíndrico até 3 cm de diâmetro, aos quatro anos de idade, em experimento realizado na província de Misiones, na Argentina.

Convém lembrar que esses dados de produtividade não são diretamente comparáveis, pois o volume foi calculado de formas diferentes e até diversos diâmetros. Portanto, esses valores podem dar uma idéia do potencial da bracatinga que pode estar sendo desperdiçado por falta de técnicas de manejo mais adequadas e/ou de melhoramento genético, e servir para comparações, mas não devem ser tomados de forma absoluta.

2.7 ESTUDOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Os estudos de crescimento e produção permitem a prognose de características quantitativas mensuráveis das árvores ou povoamentos florestais. Esses estudos, portanto, resultam em relações entre o crescimento e/ou produção dessas características (volume/ha, DAP médio, peso médio, G/ha e outros) em função do tempo (idade), qualidade de sítio e densidade da floresta.

Em termos mais práticos, AVERY e BURKHART (1983) afirmaram que a razão de se analisar o crescimento passado de árvores é para estabelecer um padrão para prever o crescimento futuro. Os autores alertaram para o fato que, devido à taxa de crescimento ser dependente da idade relativa, previsões de crescimento futuro devem ser limitadas a períodos curtos de tempo - geralmente não mais que cinco a dez anos.

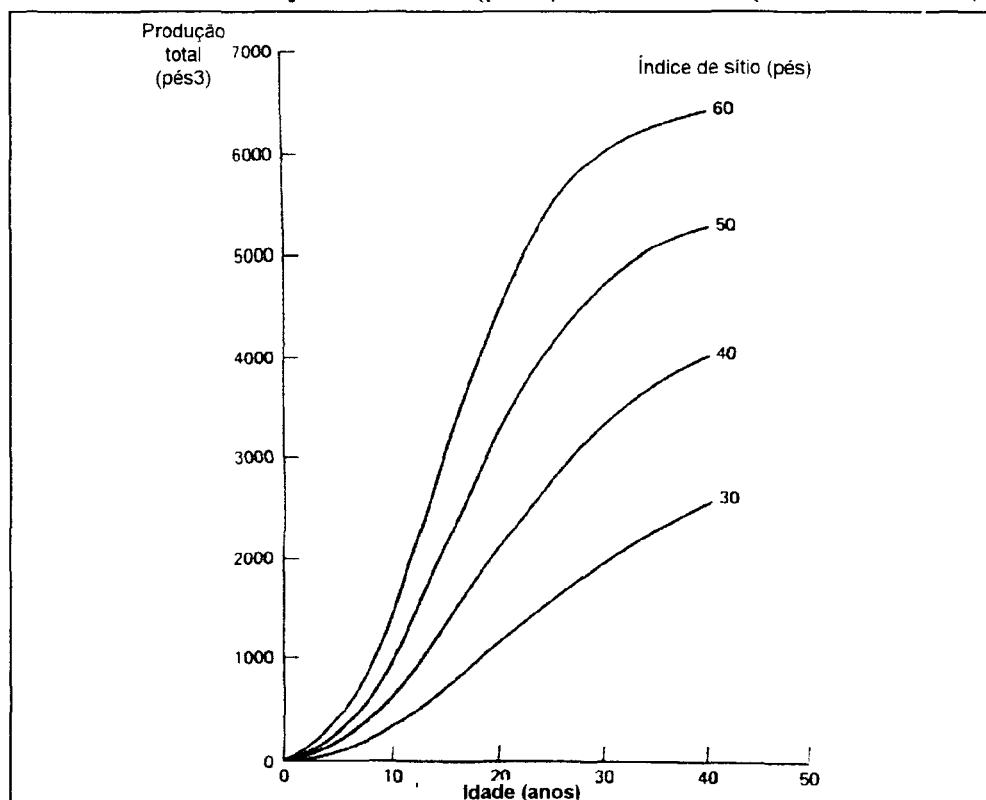
Tradicionalmente, essas previsões são colocadas em forma de tabelas de produção. Segundo LOETSCH, ZÖHRER e HALLER (1973), as exigências mais importantes dessas tabelas devem ser: ajuste objetivo, representatividade da região de aplicação e flexibilidade.

A primeira e mais importante variável preditiva é o tempo (idade), seguida pelo sítio e só então pela densidade. Assim, existem tabelas ou equações de produção que só utilizam a idade, quando não há disponibilidade de informações sobre o sítio, outras que adicionam o índice de sítio e outras, ainda, que se valem das 3 variáveis para previsão do crescimento.

Segundo LOETSCH, ZÖHRER e HALLER (1973), uma das características de uma tabela de produção é a de ser agrupada de acordo com o crescimento potencial dos sítios, o que requer a formação de classes de sítio.

A figura 7 mostra curvas de produção para plantações de *Pinus patula*, plantadas com mesma densidade (6 x 6 pés), em diferentes sítios.

FIGURA 7 - PRODUÇÃO TOTAL (pés³) POR ACRE (CLUTTER et al., 1983)



As classes de densidade são tomadas geralmente como área basal/unidade de área ou número de árvores/unidade de área. Além dessas, no entanto, há outras formas de se medir a densidade de uma floresta, como o índice de densidade do povoamento, proporção árvore/área, fator de competição das copas e índice de espaçamento ou espaçamento relativo.

Os dados para os estudos de crescimento e produção podem ser originados de parcelas permanentes, parcelas temporárias, análise de tronco, rolos de incremento ou ainda de contagem e medição dos verticilos anuais, para o caso de altura. LOETSCH, ZÖHRER e HALLER (1973) consideraram as parcelas permanentes o meio mais confiável para a construção de tabelas de produção, além de acreditarem que a combinação de parcelas temporárias e permanentes seja particularmente vantajosa.

O uso de parcelas permanentes, no entanto, acarreta maior custo, por haver necessidade de demarcação da área (e muitas vezes das árvores), além do que, quando se mudam métodos de cálculo ou se usam novos instrumentos, os resultados podem ser inconsistentes. Ainda assim, quando bem conduzidas, as parcelas permanentes constituem a principal fonte de dados para estudo de crescimento e produção, porque a remedição fornece dados bastante precisos da evolução das variáveis dendrométricas.

Segundo SPURR (1952), a construção de tabelas de produção envolve dois passos básicos: a classificação das parcelas por classe de sítio e a construção das curvas de crescimento e produção para as parcelas, em cada sítio.

2.8 MODELOS DE CRESCIMENTO E PRODUÇÃO

Funções de produção são simplesmente descrições de processos produtivos em linguagem matemática, e por isso uma maneira de modelar sistemas de produção específicos de interesse (BELLI, NAUTIYAL; 1989).

As equações de crescimento e produção podem ser compatíveis ou não. Nas compatíveis o crescimento é representado por uma equação diferencial que, integrada, gera a equação de produção. As não compatíveis não apresentam essa característica.

Uma função que define a produção total deve ter origem, ponto de inflexão, ponto de tangência máximo e assíntota. Logo, uma função de crescimento compatível deve ter seu ponto máximo coincidente com o ponto de inflexão da curva de crescimento acumulado (ou produção) e o ponto de tangência da curva de produção deve coincidir com o ponto de máximo IMA (curva dada pela razão entre o crescimento acumulado e a idade), que por sua vez é o ponto onde as curvas de IMA e ICA (curva de crescimento) se cruzam.

Os modelos de crescimento classificam-se ainda em empíricos ou biológicos (teóricos). SANQUETTA (1995) definiu modelos empíricos como expressões que descrevem o comportamento de variáveis dependentes sem hipóteses associadas de casualidade ou explanação de um fenômeno, sendo que os modelos biológicos, ao contrário, têm uma hipótese associada à casualidade ou explanação do fenômeno descrito pela variável dependente.

SOMERS e FARRAR (1991) salientaram que é de responsabilidade do manejador selecionar modelos que não resultem apenas em predições exatas dentro da amplitude dos dados observados, como no caso de inúmeros modelos empíricos, mas também forneçam extrapolações razoáveis e lógicas, como ocorre na maioria dos modelos biológicos.

O modelo de Chapman-Richards tem sido amplamente usado no campo florestal, embora tenha sido originalmente desenvolvido para animais. Bertalanffy desenvolveu uma função baseada na hipótese de que o crescimento poderia ser representado por processos de síntese e degradação dos materiais de formação, mais um certo número de fatores intermediários que podem influenciar no processo, sendo que o crescimento potencial era representado por $(n.W^{2/3})$, onde n era a taxa anabólica e W o peso ou volume do organismo. RICHARDS (1959) e CHAPMAN (1961) concluíram que a

constante alométrica $2/3$ era muito restritiva e propuseram um valor variável para a mesma. O modelo, após as transformações, tem a seguinte forma:

$$W = A \cdot \left[1 - b \cdot e^{-k \cdot t} \right]^{1/(1-m)}$$

onde: W = tamanho da variável em questão no tempo t

A, b, k, m = coeficientes do modelo

e = base do logaritmo neperiano

t = tempo (anos)

K.J. Turnbull introduziu a função no campo florestal em 1963, e desde então esse modelo tem sido muito utilizado. Segundo PIENAAR e TURNBULL (1973), o modelo de Chapman-Richards é uma expressão matemática de uma hipótese relacionada às causas essenciais do fenômeno de crescimento, de modo que seus parâmetros permitam no mínimo uma interpretação biológica ou fisiológica simples.

A interpretação dos coeficientes é, portanto, a principal vantagem do modelo. O parâmetro A é o valor assintótico da variável analisada. O coeficiente b , por sua vez, só tem importância matemática, uma vez que biologicamente ele é apenas uma função do tempo inicial escolhido. Já k é a taxa à qual a curva se aproxima da assíntota, ou seja, esse parâmetro determina o espalhamento da curva ao longo do eixo do tempo e define a inclinação dessa curva.

Finalmente, m é responsável pela localização do ponto de inflexão da curva de produção. Quando $m = 0$ não há ponto de inflexão e, à medida que m cresce, o ponto caminha em direção à assíntota. Quando $m = 2$, a inflexão corresponde ao ponto onde o valor de W é a metade do valor assintótico. Quando esse parâmetro é menor que 1, as curvas correspondentes de taxa relativa de crescimento são convexas ao eixo de W . Acima de 2, a direção da curvatura muda.

Outras relações também podem ser muito importantes na análise de ajustes do modelo de Chapman-Richards. A máxima taxa de crescimento da curva, ou seja, o ponto de inflexão ocorre quando: $W = A \cdot m^{1/(1-m)}$ e, portanto, $m^{1/(1-m)}$ é a fração do valor assintótico à qual o máximo crescimento corrente acontece. À medida que o coeficiente m aumenta, também aumenta o tamanho relativo no qual a taxa de crescimento culmina (PIENAAR; TURNBULL, 1973).

Segundo MACHADO (1978), existe uma forte correlação positiva e linear entre o parâmetro A e a qualidade de sítio. Os outros parâmetros não apresentam uma relação tão simples e forte com essa variável.

CRECHI (1996) observou uma relação diretamente proporcional entre o parâmetro A e as densidades iniciais de *Araucaria angustifolia*, para a variável DAP. Para as demais variáveis, o autor não encontrou uma tendência definida. Para o parâmetro k , o autor observou uma relação inversamente proporcional às densidades iniciais para as variáveis DAP e altura média e diretamente proporcional para G e V/ha . Assim, o parâmetro k estaria estreitamente relacionado com a velocidade de crescimento da variável: quanto maior o valor de k , mais rápido o crescimento, e vice-versa. Quanto ao valor de m , CRECHI só encontrou uma tendência visível para a variável altura média: m aumentou com a diminuição da densidade inicial.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA

Os dados provêm de parcelas permanentes e temporárias instaladas em várias localidades da região metropolitana de Curitiba. As parcelas permanentes foram estabelecidas nos municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul, PR. As temporárias estavam localizadas em Bocaiúva do Sul, Colombo, Campina Grande do Sul, Campo Largo, Balsa Nova, Almirante Tamandaré, Rio Branco do Sul, Contenda, Araucária, Piraquara, Quatro Barras, São José dos Pinhais e Agudos do Sul. Esses municípios situam-se entre as latitudes 25° 11' e 25° 49' S e entre as longitudes 49° 05' e 49° 43' W.

Segundo IAPAR (1994), os municípios de Colombo e Bocaiúva do Sul, onde se encontram as parcelas permanentes, têm precipitação média anual de 1400 mm e umidade relativa do ar de 80%. A precipitação máxima acontece no mês de janeiro (200 mm) e as mínimas (75-100 mm/mês) ocorrem entre abril e agosto. A temperatura média anual é de 17°C, com média das mínimas de 12°C e das máximas de 23°C. Acontecem entre 10 e 25 geadas por ano.

Segundo o sistema de classificação de Köppen, o tipo climático é Cfb, que corresponde ao clima temperado propriamente dito. A temperatura média do mês mais frio é inferior a 18°C, com verões frescos, a temperatura média do mês mais quente fica abaixo de 22°C e não há estação seca definida.

Os solos da região, via de regra, são Cambissolos, com diferentes graus de profundidade e fertilidade (BAGGIO; CARPANEZZI, 1997). A altitude é de aproximadamente 950 m acima do nível do mar.

Os dados meteorológicos do período que durou o experimento podem ser observados no anexo 1.

3.2 IMPLANTAÇÃO DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE INICIAL

O experimento foi implantado e medido pela EMBRAPA-CNPQ. O primeiro passo para o seu estabelecimento, segundo relatórios dessa instituição, foi o contato com proprietários de áreas de bracatingais e a procura de áreas com 12 meses de idade. Foram escolhidas 4 propriedades, cujos dados de identificação e localização estão apresentados na tabela 6.

TABELA 6 - BLOCOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE
(localização e identificação)

Proprietário	Localização	Bloco
Antônio Trevisan	Bocaiúva do Sul	AT
Benjamin Scremin	Bocaiúva do Sul	BS
Felício Costa Curta	Bocaiúva do Sul	CC
Daniel Rosenente	Colombo	ADR e BDR

O trabalho de implantação das parcelas foi realizado entre agosto de 1984 e janeiro de 1985. Utilizou-se delineamento em blocos ao acaso. Na propriedade de Daniel Rosenente foram instalados 2 blocos e nas demais 1 em cada, totalizando 5 blocos. Os blocos, daqui por diante, serão identificados pelas siglas constantes na tabela 6.

Cada bloco constituiu-se de quatro parcelas de 325 m² (13 x 25 m). Ao redor de cada parcela, foram deixadas bordaduras de 5 m, resultando numa área total de 805 m². Fez-se então um desbaste nas parcelas e bordaduras, deixando apenas o número de árvores correspondente à densidade desejada. O desbaste foi feito à foice e, paralelamente, foi efetuada uma roçada, eliminando mato-competição. Nas parcelas testemunha não foi realizado desbaste. Os tratamentos são mostrados na tabela 7.

TABELA 7 - TRATAMENTOS DO EXPERIMENTO DE
DENSIDADE INICIAL

Tratamento	Nº PLANTAS/ha	Nº plantas/parcela
1	2000	65
2	4000	130
3	8000	260
4	testemunha	total

De modo geral, foram retiradas as árvores menores, com base nos dados obtidos no levantamento preliminar das sub-parcelas. Após o desbaste, realizou-se nova medição de altura de todas as árvores remanescentes. Esses dados correspondem à medição 1.

3.3 COLETA DE DADOS DAS PARCELAS PERMANENTES

Nas parcelas permanentes, realizaram-se medições conforme a tabela 8. Nas duas primeiras medições, foram determinados altura (h) e número de árvores/ha (N) e nas seguintes mediu-se h, N e DAP. Foram usadas varas telescópicas para a medição das alturas e sutas para os DAPs.

Os meses foram transformados em decimais, porque muitas vezes as remediações dos blocos não foram realizadas na mesma época. Dessa forma foi possível isolar diferenças devidas à idade e não ao tratamento e/ou sítio. Não houve medição na idade de 3 anos. Em média, utilizaram-se as idades 1; 2,2; 4,1; 5,1; 6,3 e 7,6 na confecção de gráficos.

O bloco AT foi derrubado após a medição 4, sem explicação do proprietário. O bloco BS teve os piquetes delimitadores de suas parcelas arrancados devido à insatisfação do proprietário com as entidades públicas, que não liberavam seus bracingais para corte. Dessa forma, não pôde-se contar com as duas últimas medições de AT e a última de BS.

TABELA 8 - DATA E IDADE DE MEDIÇÃO DAS PARCELAS PERMANENTES

	Bloco	Data (mês/ano)	Idade (anos)
MEDIÇÃO 1	AT	01/85	1,0
	BS	11/84	1,0
	CC	10/84	1,0
	ADR	09/84	1,0
	BDR	09/84	1,0
MEDIÇÃO 2	AT	01/86	2,0
	BS	01/86	2,2
	CC	12/85	2,2
	ADR	11/85	2,2
	BDR	11/85	2,2
MEDIÇÃO 3	AT	12/87	3,9
	BS	11/87	4,0
	CC	11/87	4,1
	ADR	11/87	4,2
	BDR	11/87	4,2
MEDIÇÃO 4	AT	11/88	4,8
	BS	11/88	5,0
	CC	10/88	5,0
	ADR	02/89	5,4
	BDR	02/89	5,4
MEDIÇÃO 5	BS	01/90	6,2
	CC	01/90	6,3
	ADR	01/90	6,3
	BDR	01/90	6,3
MEDIÇÃO 6	CC	04/91	7,5
	ADR	04/91	7,6
	BDR	04/91	7,6

3.4 COLETA DE DADOS DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS

Paralelamente, 87 parcelas temporárias em bracatingais, com idades variando entre 3 e 18 anos, foram medidas pela EMBRAPA. As medições de alturas e DAPs foram realizadas com varas telescópicas e sutas.

Além disso, contou-se com dados de medições de mais 37 parcelas, com idades entre 3 e 13,5 anos, na região metropolitana de Curitiba, que foram cedidos pela COPEL - Divisão de Meio Ambiente. No caso dessas últimas,

conta-se com dados de CAP, medidos com fita métrica, e de alturas total e comercial, tomadas com varas.

As parcelas temporárias foram submetidas à manejo tradicional, ou seja, a densidade inicial permaneceu inalterada após as capinas. Esses dados foram usados na tentativa de se ajustar equações comuns às parcelas temporárias e permanentes, contando com observações em idades mais avançadas. A distribuição de todas as parcelas temporárias em classes de idade é apresentada na tabela 9.

TABELA 9 - PARCELAS TEMPORÁRIAS
POR CLASSE DE IDADE

Idade (anos)	Nº de parcelas
< 5	5
5 – 7	32
7 – 9	45
9 – 11	16
11 – 13	21
> 14	5
Total	124

3.5 BASE DE DADOS

Cada parcela permanente e temporária teve seus dados de campo organizados em um arquivo. As variáveis N, DAP e h foram medidas diretamente no campo e suas médias computadas por parcela. A altura dominante foi determinada pela média de altura das 3 árvores de maiores DAPs na parcela de 325 m², o que significa que utilizou-se o método das 100 maiores árvores/ha. O volume individual (v) foi estimado utilizando-se a equação desenvolvida por AHRENS (1981): $v = 0,3879.DAP^2.h$ (DAP e altura em metros). A área basal (G) e o volume por hectare (V) foram obtidos por somatório das áreas transversais e volumes individuais e posterior extrapolação do valor da parcela para um hectare.

Para as parcelas permanentes, calculou-se ainda a mortalidade percentual, segundo a fórmula: $M\% = [(N1 - N2)/N1] \cdot 100$, onde N1 é o número de árvores na medição anterior e N2 é o número de árvores na medição atual. Para completar a base de dados, fez-se a distribuição das parcelas nas classes de sítio.

A base de dados completa se encontra nos anexos 2 e 3, respectivamente para as parcelas permanentes e temporárias.

3.6 CLASSIFICAÇÃO DOS SÍTIOS

É quase unanimidade, hoje, o uso da altura dominante como indicadora da qualidade do sítio. Assim, o índice de sítio, dado pela altura dominante da floresta a uma determinada idade índice, é a variável que indica essa característica.

Tanto os blocos do experimento como as parcelas temporárias foram classificadas em classes de sítio, utilizando-se a equação desenvolvida por MACHADO et al. (1996). Os autores afirmaram que as curvas de índice de sítio obtidas são estáveis e adequadas para classificar com segurança a capacidade produtiva de terrenos florestais com bracatingais acima de 2 anos de idade.

Para obter essa equação, foram utilizados 283 pares de valores Hdom/idade, tanto de parcelas temporárias como permanentes, provenientes de diversas localidades da região metropolitana de Curitiba. Algumas das parcelas que serão utilizadas nessa dissertação contribuíram na base de dados da equação de sítio.

Diversos modelos foram testados e, baseados nas estatísticas resultantes e na análise de resíduos, escolheu-se a seguinte equação:

$$Hdom = 21 \cdot [1 - \exp(-0,08325 \cdot I)]^{0,58798} \quad (1)$$

Rearranjando-se a equação para cálculo das curvas limites das classes de sítio, obteve-se:

$$H_{dom} = S \cdot \left[\frac{1 - \exp(-0,08325 \cdot I)}{1 - \exp(-0,08325 \cdot I_{ref})} \right]^{0,58798} \quad (2)$$

onde: I = idade (anos)
 H_{dom} = altura dominante (m)
 S = índice de sítio (m)
 I_{ref} = idade de referência (7 anos, no caso).

A amplitude de dados, no trabalho citado, foi dividida em 4 classes, com índices de sítio 17,25; 14,75; 12,25 e 9,75 m (respectivamente, classes I, II, III e IV).

A distribuição das parcelas permanentes nessas classes resultou em: 1 bloco na classe de sítio I, 2 na classe III, 1 na IV e o último no limite entre as II e a III. Logo, além de haver dúvida na classificação de um dos blocos, nenhum deles se encaixava perfeitamente na classe II.

Essa distribuição pouco uniforme dificultaria a análise de efeito dos blocos sobre as variáveis. Por esse motivo, preferiu-se fazer uma reclassificação dos sítios, utilizando-se a equação desenvolvida por MACHADO et al (1996). Trabalhou-se então com 3 classes de sítio I, II e III, com índices de, respectivamente, 16,8; 13,5 e 10,2 m, aos 7 anos de idade.

Utilizou-se a equação (2) para o cálculo dos limites para as novas classes em cada idade, substituindo-se S pelos valores máximos e mínimos de cada classe na idade índice. Os valores obtidos são apresentados na tabela 10.

TABELA 10 - LIMITES INFERIOR (LI) E SUPERIOR (LS) DAS ALTURAS DOMINANTES (m) ESTIMADAS POR IDADE E POR SÍTIO

Idade (anos)	Classes de sítio					
	III		II		I	
	LI	LS	LI	LS	LI	LS
1	3,13	4,34	4,34	5,54	5,54	6,75
2	4,59	6,36	6,36	8,13	8,13	9,91
3	5,69	7,89	7,89	10,08	10,08	12,28
4	6,58	9,13	9,13	11,67	11,67	14,21
5	7,34	10,17	10,17	13,00	13,00	15,83
6	7,99	11,07	11,07	14,15	14,15	17,23
7	8,55	11,85	11,85	15,15	15,15	18,45
8	9,05	12,54	12,54	16,03	16,03	19,52
9	9,49	13,15	13,15	16,81	16,81	20,48
10	9,88	13,70	13,70	17,51	17,51	21,33
11	10,24	14,19	14,19	18,14	18,14	22,09
12	10,55	14,63	14,63	18,70	18,70	22,77
13	10,84	15,02	15,02	19,21	19,21	23,39
14	11,10	15,38	15,38	19,67	19,67	23,95
15	11,33	15,71	15,71	20,08	20,08	24,45
16	11,55	16,00	16,00	20,46	20,46	24,91
17	11,74	16,27	16,27	20,80	20,80	25,33
18	11,91	16,51	16,51	21,11	21,11	25,71
19	12,07	16,74	16,74	21,40	21,40	26,06
20	12,22	16,94	16,94	21,65	21,65	26,37

Com a nova classificação, para o experimento de densidade, um dos blocos foi incluído na classe I, dois na classe II e outros dois na III, conforme tabela 11.

TABELA 11 - CLASSIFICAÇÃO DOS BLOCOS DO EXPERIMENTO DE DENSIDADE EM CLASSES DE SÍTIO

Bloco	Classe de sítio	Índice de sítio (m)
AT	I	16,8
BS	II	13,5
CC	II	13,5
ADR	III	10,2
BDR	III	10,2

Com relação às 124 parcelas temporárias, 20 delas foram classificadas na classe de sítio I, 72 na classe II e 32 na III.

3.7 ANÁLISE DOS EFEITOS DA DENSIDADE E DO SÍTIO NA PRODUÇÃO

Para essa análise, foram utilizados os dados das parcelas permanentes do experimento de densidades anteriormente descrito. Avaliaram-se os efeitos da densidade (número de árvores/ha) inicial sobre os seguintes parâmetros: volume por hectare (V), área basal por hectare (G), DAP médio, altura média (h), altura dominante (Hdom), área transversal individual (g) média e volume individual médio (v).

3.7.1 ANÁLISE GRÁFICA

Fez-se uma observação visual preliminar da influência da densidade e do sítio sobre as diversas variáveis da árvore e do povoamento, através de gráficos. Plotou-se a evolução no tempo de cada variável como função dos tratamentos e então como função dos blocos. Esses gráficos deram uma boa idéia da tendência das variáveis. Para a confecção dos gráficos para os tratamentos, no entanto, fez-se necessário que se estimasse as variáveis que estavam faltando nas últimas medições.

3.7.1.1 Estimativas dos Blocos Ausentes nas Últimas Medições

Conforme já explicado no item 3.3, não se tem informações do bloco AT na 5ª medição nem dos blocos AT e BS na 6ª. Para se compreender o comportamento dos tratamentos no tempo, no entanto, essa ausência seria um problema. Como os blocos faltantes são justamente o único da classe de sítio I e um dos 2 da classe II, muitas vezes ter-se-ia a impressão que os valores das variáveis diminuem nessas duas épocas.

Resolveu-se, então, estimar os valores desses blocos somente para facilitar a análise gráfica do efeito médio dos tratamentos (ou seja, esses dados estimados só foram usados no item .1 de cada grupo de variáveis). Todas as

estimativas se iniciaram a partir da equação de classificação de sítio (equação 1), que, rearranjada para estimar altura dominante a uma determinada idade a partir de Hdom a uma outra idade, ficou assim:

$$Hdom_2 = Hdom_1 \cdot \left[\frac{1 - \exp(-0,08325 \cdot I_2)}{1 - \exp(-0,08325 \cdot I_1)} \right]^{0,58798} \quad (3)$$

onde: Hdom₂ = altura dominante na idade 2 (m)

Hdom₁ = altura dominante na idade 1 (m)

I₂ = idade em que se quer estimar Hdom (anos)

I₁ = idade de Hdom conhecida (anos).

A partir das alturas dominantes foram estimadas as demais variáveis. A altura média, que apresentou um coeficiente de correlação de 0,92 com a altura dominante, foi estimada como função dessa variável. A estimativa do DAP a princípio foi tentada por meio de relação hipsométrica, mas essa revelou-se muito fraca. Acrescentou-se então a variável idade, que melhorou os resultados. No entanto, algumas vezes o DAP estimado, só com base na altura e idade, era igual ou menor que o DAP médio da mesma parcela na medição anterior. Por isso, adicionaram-se ainda as variáveis DAP médio da parcela na medição anterior e densidade inicial.

Os valores estimados de DAP permitiram a estimativa de dg e, a partir desse, de área transversal. Tanto dg como g apresentaram um coeficiente de correlação de 0,99 com o DAP. Com relação ao volume, utilizou-se a equação de AHRENS (1981) para cada árvore individual. Nesse caso, no entanto, o que se queria estimar era o volume médio de cada parcela a partir de dados médios de DAP e h. Testaram-se então diversos outros modelos, que foram comparados àquele.

As variáveis do povoamento (G e V) foram estimadas com base em g e v e no número de árvores/ha. Assim, diversos modelos foram testados para a estimativa de N, para cada tratamento e para os sítios I e II, uma vez que não

faltavam dados para o sítio III. Os modelos testados são apresentados na tabela 12. Os quatro primeiros modelos foram utilizados por SANQUETTA (1990). Em muitos casos, provavelmente devido ao pequeno número de dados e intervalo de tempo, modelos lineares simples foram superiores a clássicos modelos de mortalidade.

TABELA 12 - MODELOS TESTADOS PARA ESTIMAR N

Modelo	Autor/tipo	
1	SILVA	$N_2 = N_1 \cdot \exp [a \cdot (b^{I_2} - b^{I_1})]$
2	derivação da função de RICHARDS	$N_2 = N_1 - N_1 \cdot \{[1 - \exp (-a \cdot (I_2 - I_1))]^b\}$
3	CLUTTER & JONES	$N_2 = [N_1^a + b \cdot (I_2 - I_1)^{c(1/a)}]$
4	derivação da função de WEIBULL	$N_2 = N_1 \cdot \exp \{ - [(I_2 - I_1) / a]^b \}$
5	Linear = f (I ₁)	$N_2 = a + b \cdot I_1$
6	Linear = f (I ₂)	$N_2 = a + b \cdot I_2$
7	Linear = f (N ₁)	$N_2 = a + b \cdot N_1$

Onde: N₂ = número de árvores/ha atual, na idade 2

N₁ = número de árvores/ha na medição anterior (idade 1)

I₂ = idade atual (anos)

I₁ = idade da medição anterior (anos)

a, b, c = coeficientes de ajuste

As equações ajustadas para N também foram usadas para estimar N em duas parcelas permanentes (tratamento 1, blocos BS e CC, medição 5) cujo número de árvores, provavelmente por erro de medição, aumentou, provocando mortalidade média negativa. Esses valores estimados de N foram utilizados nas análises gráficas de mortalidade. Os valores de G e V foram obtidos pela multiplicação das estimativas de g ou v pela estimativa de N.

Diversos modelos foram testados para estimar cada variável. A comparação foi feita com base nos valores de R² ajustado, erro padrão da estimativa e análise de resíduos.

3.7.2 ANÁLISE DE VARIÂNCIA

A seguir, fez-se a avaliação estatística desses efeitos através de análise de variância, que desdobra a variância em fontes de variação identificáveis. A análise de variância foi efetuada utilizando-se o valor médio por tratamento e bloco, separadamente por variável e idade de medição. Um valor crítico de 5% foi usado para “F”.

3.7.3 COMPARAÇÃO ENTRE DENSIDADES INICIAIS

Quando a fonte de variação da análise de variância é de natureza quantitativa, como no caso dos tratamentos de densidade inicial, a comparação é feita através de uma análise de tendências. Assim, foram testados diversos modelos para representar a variável de interesse em função dos níveis quantitativos referentes aos tratamentos (2 mil, 4 mil, 8 mil ou 25,2 mil plantas/ha). O índice de sítio foi incluído como variável independente, numa tentativa de melhorar as estimativas. Os modelos foram selecionados a partir da análise gráfica do comportamento da variável. Os critérios de escolha da melhor equação foram R^2 ajustado, erro padrão da estimativa e distribuição dos resíduos.

Após escolha da equação, foram feitas representações gráficas da tendência da evolução das variáveis em função da densidade inicial para as diversas idades. A comparação entre os diferentes tratamentos foi feita através desses gráficos.

3.7.4 COMPARAÇÃO ENTRE CLASSES DE SÍTIO

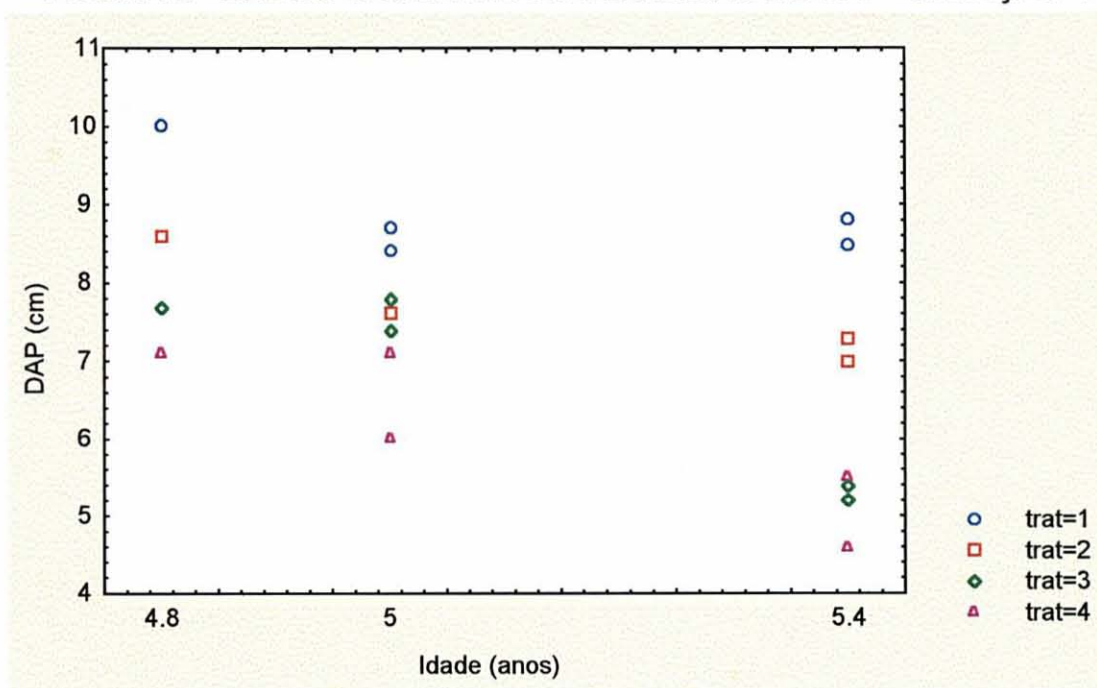
Já quando a fonte de variação é de natureza qualitativa, como no caso das classes de sítio, a comparação entre os fatores deve ser feita através

de um teste de comparação múltipla de médias. O teste de Tukey ao nível de 5% foi utilizado para detectar diferenças significativas entre eles.

A realização desse teste, no entanto, requereu o uso de um artifício. Muitas vezes, como pode ser observado na tabela 8, as medições não foram realizadas exatamente na mesma idade. Ou seja, na mesma medição 4, por exemplo, um bloco foi medido aos 4,8, outros dois aos 5,0 e os dois restantes aos 5,4 anos de idade. Assim, a diferença nas médias das variáveis poderiam ser também devidas a essa desigualdade.

Observando-se a figura 8, como exemplo, pode-se perceber que medições de todos os tratamentos estavam presentes em todas as idades. Como se sabe, na realização de análise de variância com delineamento de blocos ao acaso, qualquer diferença dentro do tratamento é considerada como sendo devida ao bloco. Dessa forma, qualquer disparidade que pudesse ter sido causada pelas medições em diferentes épocas foi “absorvida” pela fonte de variação “blocos”.

FIGURA 8 - DADOS OBSERVADOS DE MÉDIAS DE DAP - MEDIÇÃO 4



Para se fazer a comparação entre os blocos, essa diferença devida à idade precisou ser eliminada. Para isso, usou-se interpolação para se obter todas as medições à mesma idade. Portanto, só para a realização desse teste, assumiu-se que, se para um determinado tratamento e sítio, o DAP medido era de 8,1 cm aos 4,2 anos de idade e de 8,8 cm na idade de 5,4, na idade de 5 anos o DAP esperado seria de 8,6 cm. Apesar de se saber que o padrão de evolução dessas variáveis no tempo não é linear, usou-se esse tipo de interpolação por tratar-se de intervalos de idade muito pequenos.

Assim, foram esses os dados, interpolados ou observados, mas sempre à mesma idade, que foram utilizados no teste de Tukey.

3.8 MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS

3.8.1 ANÁLISE DE TENDÊNCIA DAS VARIÁVEIS

Para se compreender a tendência de evolução de cada uma das variáveis no tempo, os valores observados para cada uma delas foram plotados contra idade, para cada combinação de tratamento e sítio das parcelas permanentes e para cada sítio das parcelas temporárias.

Os parâmetros mostraram comportamentos diferentes, alguns lineares, outros revelaram uma curva de produção quase perfeita e outros ainda não apresentaram padrão algum. Testaram-se modelos que se ajustassem bem ao comportamento exibido por cada variável.

3.8.2 MODELAGEM DAS VARIÁVEIS

Apesar de muitas vezes outros modelos terem se ajustado melhor ao conjunto de dados, optou-se pelo uso do modelo biológico de Chapman-Richards para todas as variáveis. Essa opção foi feita para permitir a extrapolação das funções, dando uma idéia do comportamento futuro das variáveis; para admitir a comparação entre tratamentos e/ou sítios e/ou tipos de parcelas, com medições até diferentes idades; e ainda para possibilitar a validação das funções com dados de parcelas mais velhas ou mais jovens.

3.8.2.1 O Modelo de Chapman-Richards

Esse modelo tem as seguintes características: origem, ponto de inflexão, ponto de tangência e assíntota, e apresenta a forma a seguir:

$$W = A \cdot \left[1 - b \cdot e^{-k \cdot t} \right]^{1/(1-m)}$$

onde: W = tamanho da variável em questão no tempo t

A = valor assintótico

b , m , k = coeficientes do modelo

e = base do logaritmo neperiano

t = tempo (anos)

Conforme já mencionado, o coeficiente **A** representa o valor assintótico que a variável deverá atingir; **b** tem pouca importância biológica e é função do tempo zero; **m** é responsável pelo ponto de inflexão da curva; e **k** define o grau de inclinação da curva.

A princípio o modelo foi ajustado em sua forma completa, com coeficientes **A** , **b** , **k** e **m** . Após o ajuste da variável DAP, no entanto, optou-se por fixar **b** em 1. Entendendo-se o significado de **b** , poderá se compreender

porque esse parâmetro pode ser previamente determinado: **b** é uma função de t_0 (tempo 0), ou seja, da idade na qual a variável **W** se torna mensurável pela primeira vez.

Em geral, seria esperado que, dentro de certos limites, parcelas de todas as densidades iniciais atingissem 1,30 m à mesma idade (para medição de DAP e, conseqüentemente, cálculo de volume individual e por hectare, áreas transversal e basal), uma vez que a altura não é muito influenciada por essa característica silvicultural. No experimento em análise, no entanto, o desbaste foi realizado de forma a deixar as árvores mais altas (conforme pode ser verificado nas análises de variância para altura). Dessa forma, as densidades mais baixas deveriam atingir a altura de DAP mais cedo. Mas o que aconteceu na prática foi que todas as medições foram feitas simultaneamente. Assim, t_0 e, conseqüentemente, **b** podem ser considerados iguais para todas as densidades e sítios.

Fixando-se o valor de **b** em 1, permite-se que a linha estimativa do crescimento passe pela origem (ponto de coordenadas 0, 0). Essa condição faz mais sentido biológico, embora possa piorar o ajuste ao redor dos pontos observados. Na prática, a fixação desse parâmetro no valor 1, corresponde a excluí-lo do modelo: $W = A \cdot [1 - e^{-k \cdot t}]^{1/(1-m)}$.

3.8.2.2 Métodos de Ajuste Para Modelos Não-Lineares

O ajuste do modelo de Chapman-Richards foi feito através do programa STATISTICA. Esse programa computacional utiliza quatro técnicas na estimativa dos coeficientes: quasi-Newton, Simplex, movimentação de padrões de Hooke-Jeeves, busca de padrão de Rosenbrock (ou método das coordenadas rotativas) e, ainda, a combinação desses métodos entre si.

Segundo informações do próprio programa estatístico, o método de quasi-Newton é o que converge mais rapidamente. Nesse processo, as

derivadas segundas parciais da função residual ($= (Y_{\text{observado}} - Y_{\text{estimado}})^2$) são estimadas assintoticamente e usadas para determinar o movimento de parâmetros a cada iteração, de modo a minimizar o valor dessa função. Considerando que as derivadas de segunda ordem sejam significativas, e elas geralmente o são, esse procedimento é o mais eficiente.

Os demais métodos usam diversas técnicas geométricas para minimizar os resíduos, em lugar de estimar derivadas segundas. De modo geral, esses métodos são mais robustos, ou seja, têm menor tendência a convergir em mínimos locais, e são menos sensíveis a valores iniciais ruins ou absurdos.

O Simplex trabalha com um algoritmo que não depende do cálculo ou estimativa de derivadas da função residual. Em vez disso, a cada iteração a função é avaliada em $m+1$ pontos no espaço paramétrico m -dimensional.

O método de Hooke-Jeeves consiste em, a cada iteração, definir um padrão de pontos, movendo cada parâmetro de uma vez, de forma a otimizar a função residual. Todo o padrão é então deslocado para uma nova localização, determinada por extrapolação da linha do antigo ponto base no espaço m -dimensional para o novo ponto base. Esse procedimento costuma ser efetivo.

O método de Rosenbrock baseia-se na rotação do espaço paramétrico e alinhamento de um eixo com uma aresta. Todos os outros eixos ficam ortogonais àquele. Se a função residual é unimodal e apresenta tendências a um mínimo, esse procedimento é acurado. No entanto, esse algoritmo de busca pode parar logo, quando houver muitas restrições de domínio.

As combinações de métodos são úteis, principalmente, quando não se tem uma boa idéia dos pontos iniciais. Nesse caso, usa-se um dos 3 últimos, que são menos sensíveis a mínimos locais, para gerar os parâmetros iniciais, que são usados em seguida para as iterações de quasi-Newton.

Para estimativa dos pontos iniciais, começou-se com observação dos gráficos de tendências das variáveis, utilizando o ponto máximo observado.

3.8.2.3 Parcelas Permanentes

O modelo de Chapman-Richards foi ajustado para cada combinação de tratamento e sítio. Os coeficientes estimados foram analisados e discutidos. Tentou-se fixar **A** por classe de sítio. Essa tentativa foi feita com base na própria definição de sítio, através da qual depreende-se que sítios diferentes atingirão diferentes valores assintóticos. Para um mesmo sítio, no entanto, acredita-se que, dentro de certos limites de densidade, o valor assintótico deverá ser o mesmo, embora atingido em idades diferentes.

Para testar a viabilidade de se fixar os valores de **A**, alguns testes foram realizados. Primeiramente, calculou-se o coeficiente de correlação entre **A** e os índices de sítio, e entre **A** e as densidades iniciais. Sabe-se que a correlação é uma medida de quanto as variáveis variam juntas, ou seja, da intensidade de associação entre elas, e sabe-se ainda que seu valor varia entre -1 e 1. Um valor de correlação -1 indica perfeita correlação negativa, ou seja, enquanto uma variável aumenta, a outra diminui exatamente na mesma proporção, ou vice-versa. Da mesma forma, um valor 1 demonstra a completa associação positiva, isto é, quando uma variável aumenta, a outra aumenta da mesma maneira.

Em seguida, ajustou-se uma equação de **A** em função de tratamentos e sítios, no formato $A = b_1.N_0 + b_2.S$ (onde **A** é o valor assintótico estimado, b_1 e b_2 são coeficientes, N_0 é a densidade inicial e S é o índice de sítio). Analisaram-se as significâncias das variáveis independentes, ou seja, se a densidade e/ou o sítio exercem influência significativa sobre **A**.

Para as variáveis em que foram encontrados alto valor de correlação entre **A** e índice de sítio, baixo valor entre **A** e densidade, e sítio significativo e densidade não significativo na regressão, o valor de **A** foi fixado no valor mais alto obtido por ajuste livre.

O modelo de Chapman-Richards foi então ajustado novamente, com o valor de **A** fixado, aumentando assim os graus de liberdade do resíduo e

diminuindo o erro das equações. Foram feitas representações gráficas das equações com os dados observados plotados, e os coeficientes foram analisados novamente.

Para saber se as duas equações (com **A** ajustado livremente e com **A** fixo) eram estatisticamente iguais, utilizou-se o teste do F-parcial, conforme MACHADO (1978). Esse teste verifica a significância do aumento da soma dos quadrados do resíduo do modelo reduzido (com **A** fixo) quando comparado com o modelo completo (ajuste livre de **A**) e é dado por:

$$F = \frac{(SQ_{\text{mod. reduzido}} - SQ_{\text{mod. completo}}) / gl_{\text{dif.}}}{SQ_{\text{mod. completo}} / gl_{\text{mod.comp.}}}$$

onde: F = valor calculado para o teste;

SQ = soma dos quadrados do resíduo

mod. reduzido = modelo com assíntota fixa

mod. completo = modelo de ajuste livre

gl = graus de liberdade

gl_{dif} = diferença entre os gl dos dois.

O teste foi feito para todas as combinações de tratamento e sítio. Valores tabelados de F indicaram se houve ou não diferença significativa entre as duas equações.

Para variáveis cujos resultados de ajuste foram muito fracos, fez-se uma discussão sobre o desenvolvimento da bracatinga, com base na literatura.

3.8.2.4 Parcelas Temporárias e Combinação Dessas com as Permanentes

Após a operação de modelagem das variáveis das parcelas permanentes, ajustou-se o modelo de Chapman-Richards para as parcelas temporárias e então para o agrupamento por sítio dos dados das parcelas permanentes e temporárias. Os mesmos passos foram seguidos em ambos os casos: ajuste livre, verificação da viabilidade de se fixar **A** (no mesmo valor das

parcela permanentes), novo ajuste com **A**, análise dos coeficientes, teste do F-parcial para comparação entre as equações e representação gráfica das equações.

3.8.2.5 Comparação Entre as Equações

As equações de produção obtidas a partir das observações das parcelas permanentes foram comparadas àquelas oriundas das parcelas temporárias. Além disso, as obtidas do ajuste do modelo de Chapman-Richards com os dados combinados dos dois tipos de parcelas foram comparadas àquelas ajustadas separadamente para cada tipo.

Essas comparações foram realizadas gráfica e estatisticamente. Para a análise visual, colocou-se no mesmo gráfico as três equações, o que permitiu uma comparação inicial.

Para a comparação estatística, utilizou-se o teste do t-pareado. Esse teste verifica a hipótese de que não há diferença estatística entre as médias de dois grupos, relacionando-se pares de dados equivalentes em ambos os grupos. O pareamento dos dados isola o efeito da variável independente. A obtenção dos dados para o teste foi realizada da seguinte maneira: obtiveram-se estimativas utilizando-se as duas equações a serem confrontadas, tendo-se como variáveis independentes idades incluídas no domínio das observações. O teste é dado por:

$$t = \frac{\bar{X}_a - \bar{X}_b}{\sqrt{\frac{S_d^2}{n}}} = \frac{\bar{d}}{\sqrt{\frac{S_d^2}{n}}}$$

onde: t = valor do teste para $n-1$ graus de liberdade;

\bar{X} = média da população a ou b ;

S_d^2 = variância das diferenças individuais entre a e b ;

n = número de pares de dados;

\bar{d} = média das diferenças individuais entre a e b .

O número de dados necessário para detectar uma diferença verdadeira é dado por:

$$n = \frac{t^2 \cdot S_d^2}{D^2}$$

onde: t = valor tabular para uma dada probabilidade e n graus de liberdade

D = média das diferenças entre os pares de dados.

Os valores calculados para t foram comparados com os valores tabelados, para se saber se a diferença foi ou não significativa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EFEITO DA DENSIDADE INICIAL E DO SÍTIO SOBRE AS DIVERSAS VARIÁVEIS DENDROMÉTRICAS

4.1.1 DIÂMETRO MÉDIO (DAP), ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA (g) E VOLUME INDIVIDUAL MÉDIO (v)

4.1.1.1 Crescimento em Função da Densidade Inicial

O primeiro passo para a análise da evolução dessas variáveis em função das densidades iniciais foi a estimativa dos valores das últimas medições para os blocos AT e BS. Para a variável DAP, utilizando-se o método stepwise de seleção de variáveis, chegou-se à equação abaixo:

$$DAP_2 = -1,22126 + 0,85734 \cdot DAP_1 + 0,22767 \cdot h + 0,14189 \cdot I \quad (4);$$

com $R^2_{ajustado} = 0,965$; $S_{xy} = 0,2912$ (3,9%) e onde:

DAP_2 = DAP médio da parcela na idade I (cm)
 DAP_1 = DAP médio da parcela na medição anterior (cm)
 h = altura média estimada (eq. 7) na idade atual (m)
 I = idade atual, em que se quer estimar DAP (anos).

A equação seguinte estimou dg, que por sua vez permitiu o cálculo de g:

$$dg = 0,330621 + 0,989821 \cdot DAP \quad (5);$$

com $R^2_{ajustado} = 0,997$ e $S_{xy} = 0,084$ (1,1%).

Já a equação abaixo foi considerada a melhor para volume médio por parcela:

$$v = 0,0000531996 * DAP^{1,79806} * h^{1,09014} \quad (6);$$

que apresenta $R^2_{ajustado} = 0,996$; $S_{xy} = 0,0007289$ (2,8%).

As estimativas obtidas foram agregadas aos dados observados para a confecção dos gráficos de evolução das variáveis DAP, g e v.

Os tratamentos, ou seja, as densidades iniciais, afetaram essas 3 variáveis de maneira muito semelhante. Conforme era esperado, os povoamentos com menor número de plantas/ha apresentaram os maiores valores desses parâmetros, e vice-versa.

As figuras 9, 10 e 11 mostram o efeito do tratamento na evolução das 3 variáveis ao longo do tempo.

FIGURA 9 - DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE

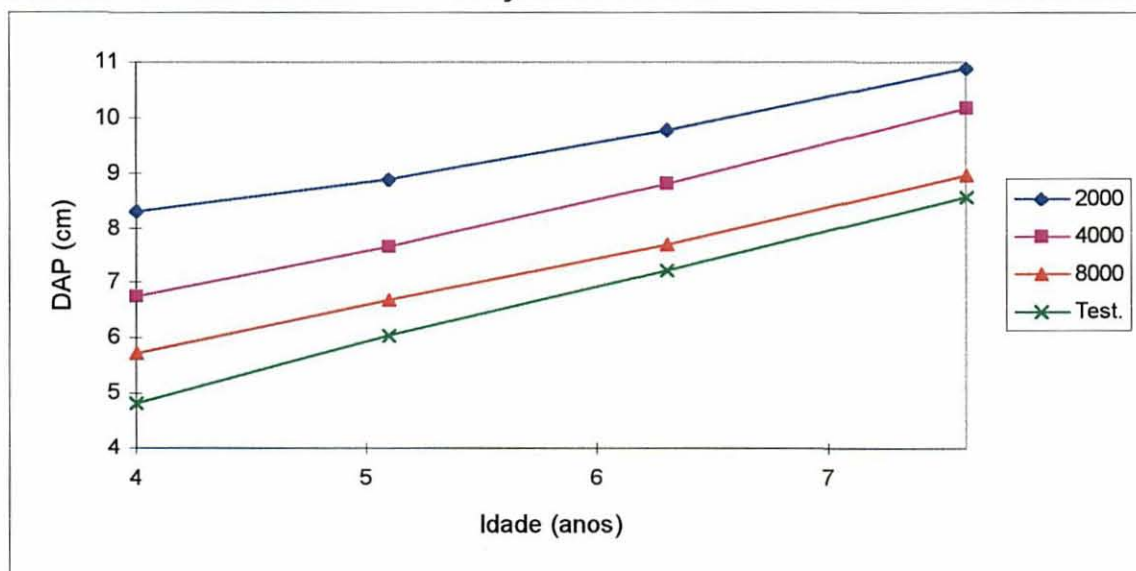


FIGURA 10 - VOLUME INDIVIDUAL MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE

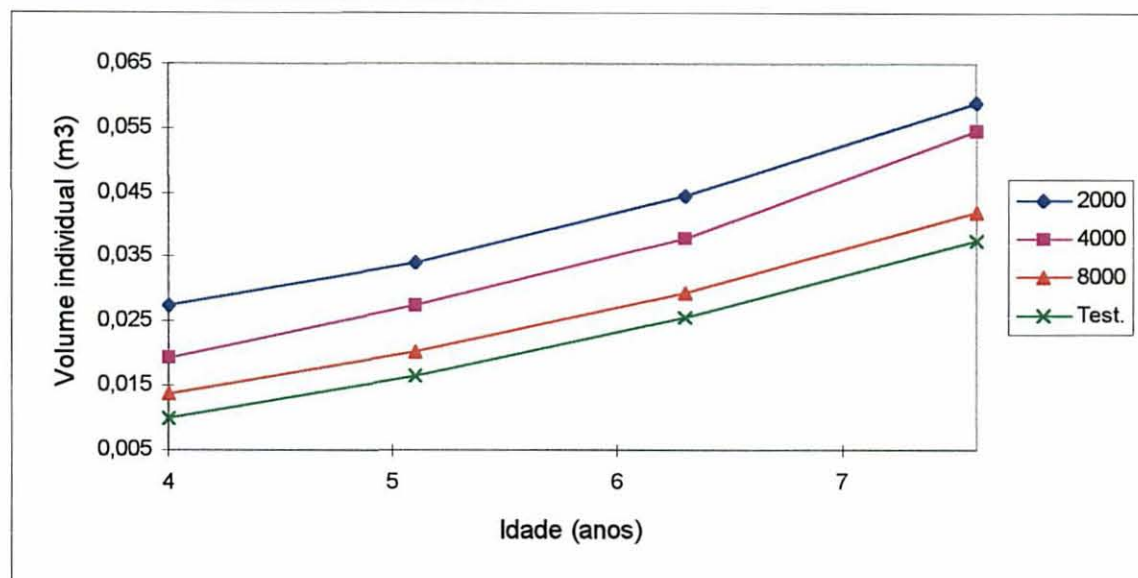
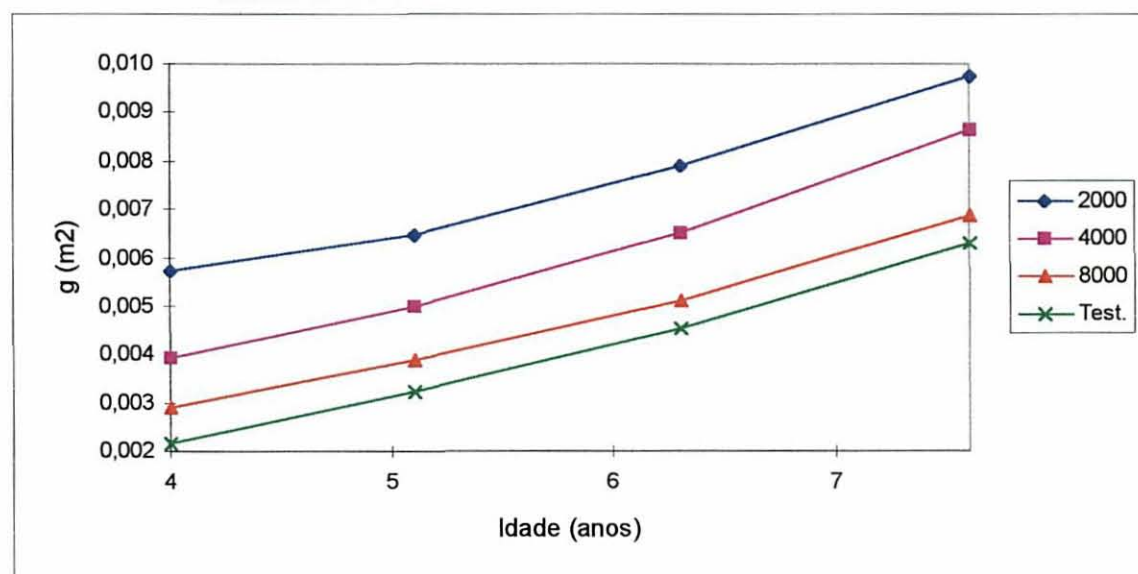


FIGURA 11 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE



Percebe-se que os valores médios do tratamento 3 (8 mil plantas/ha) e da testemunha convergiram com o passar do tempo. Na última medição atingiram 7,8 e 7,6 cm de DAP e 0,0277 e 0,0261 m³ de volume, respectivamente. Já os valores médios dos tratamentos 1 e 2 (2 mil e 4 mil plantas/ha) foram consideravelmente maiores.

Quanto aos incrementos, para DAP o IMA já tinha atingido seu pico à idade de quatro anos, estando em decréscimo para todas as densidades. Os valores de IMA foram inversamente proporcionais à densidade inicial.

O resultado de IMA decrescente é endossado por aqueles obtidos por FERRAZ e FONSECA (1980). Estudando o padrão de crescimento de 17 árvores (amostradas de populações naturais de seis locais diferentes e com idades variando entre 11 e 13 anos) através do método de atenuação da radiação gama, os autores encontraram o IMA máximo para massa seca na altura do DAP aos dois anos de idade.

Já o IPA não mostrou uma tendência muito clara, mas seus valores foram, de modo geral, maiores para as maiores densidades. A exceção foi o tratamento 2, que apresentou o maior IPA (1,05 cm/ano) no período entre as duas últimas medições e o segundo maior no período anterior.

Para volume e área transversal médios os padrões dos incrementos foram um pouco diferentes. Tanto o IMA como o IPA ainda estavam aumentando, até a idade de 7,6 anos, embora para a área transversal esse comportamento não fosse tão regular quanto para volume. Com relação ao efeito dos tratamentos, a tendência foi a mesma observada para o DAP: o IMA foi inversamente proporcional à densidade inicial da parcela e o IPA não apresentou inclinação muito clara, embora o valor do tratamento 2 tenha sido sempre o maior entre todos. A tendência inversamente proporcional do IMA à densidade foi confirmada por CATIE (1990), muito embora os valores tenham sido muito maiores.

Em resumo, as árvores das parcelas com menor densidade inicial cresceram mais, em termos de DAP médio, nos primeiros quatro anos, devido à menor competição. A partir do momento em que a mortalidade natural diminuiu essa competição, as árvores das parcelas mais densas passaram a crescer mais rapidamente, tendendo a compensar a diferença da fase inicial. O tratamento 2, de modo geral, apresentou crescimento corrente maior que os demais.

Alguns trabalhos realizados em bracatingais permitem comparar esses valores de DAP, volume e incrementos. E essas comparações possibilitam melhor compreensão desses resultados.

AHRENS (1981), no trabalho em que desenvolveu a equação que foi utilizada para cálculo dos volumes individuais, estabeleceu parcelas de controle para verificação da equação produzida. Os DAPs médios obtidos em algumas dessas parcelas, bem como os incrementos médios anuais, são apresentados na tabela 13. As parcelas 1 e 2 da tabela foram estabelecidas por plantio de mudas, enquanto que as 3, 4 e 5 foram queimadas e sofreram regeneração natural.

TABELA 13 - DAPs MÉDIOS DE PARCELAS DE OBSERVAÇÃO ESTABELECIDAS EM POVOAMENTOS EQUIÂNEOS

Parc. nº	Local	Idade (anos)	N (nº árv./ha)	DAP (cm)	IMA (cm/ano)
1	Concórdia, SC	4	1650	12,32	3,08
2	Pinhão, PR	5	1650	10,28	2,05
3	Colombo, PR	6	2800	7,54	1,25
4	Colombo, PR	6	5000	5,52	0,92
5	Colombo, PR	6	6900	4,53	0,75

Fonte: AHRENS, 1981.

É clara a superioridade de crescimento em DAP das parcelas estabelecidas por plantio de mudas, o que pode ser creditado mais ao menor número de árvores/ha, do que ao estabelecimento propriamente dito, segundo SEMINÁRIO... (1990). A superioridade da implantação de povoamentos por mudas foi confirmada por CARPANEZZI et al. (1988), em comparação com a semeadura direta. Os valores de DAP médio para as parcelas de quatro e cinco anos excederam bastante os maiores encontrados nesse trabalho: respectivamente, 8,3 e 8,9 cm, para o tratamento 1.

Já os valores das parcelas originadas por queimadas foram mais comparáveis com os obtidos neste trabalho. A parcela 3 da tabela 13, aos 6 anos, teve seu valor de DAP médio exatamente entre os encontrados para os tratamentos de 8 mil plantas/ha e testemunha, aos 6,3 anos: respectivamente

7,7 e 7,2 cm. As parcelas 4 e 5, da mesma tabela, apresentaram valores menores, o que pode ser devido ao sítio, densidade inicial, formas de manejo ou influências climáticas.

CARPANEZZI (1994) encontrou os maiores valores médios de DAP e volume médio individual, aos 29 meses de idade, para bracatingais com densidade reduzida a 3,3 mil plantas/ha aos quatro meses de idade, sem culturas agrícolas nem adubação, mas com duas capinas para eliminar a mato-competição e excesso de plântulas de bracatinga, antes do desbaste que reduziu a densidade. Esse valor foi comparado aos de bracatingais desbastados para 9,5 mil plantas/ha, testemunhas e povoamentos em sistema agroflorestal. O resultado obtido confirmou o obtido nesse trabalho até a idade de 7,6 anos. MUSÁLEM (1995), no México, também achou DAP e volume médios mais altos para parcelas com densidade de 2222 plantas/ha, quando comparadas com densidades iniciais de 4444. Essas conclusões são ratificadas pela tabela 2 e pelos resultados de LAURENT et al. (1990).

CATIE (1986), na Costa Rica, encontrou resultados opostos, aos 18 meses de idade: em um experimento com densidades variando entre 1,25 e 4 mil árvores/ha, os valores de DAP médio foram diretamente proporcionais à densidade inicial. Para esse comportamento inesperado, os autores levantaram a hipótese de que nas maiores densidades se formaria um microclima mais favorável, considerando os ventos fortes da região.

Comparando-se os resultados obtidos nesse trabalho com as tabelas 3 e 5, da revisão bibliográfica, confirmou-se que os bracatingais implantados por mudas têm crescimento superior aos do sistema tradicional. Os valores de DAP da tabela 3 são, em média, 25% maiores que os obtidos aqui, para o tratamento com densidade inicial mais próximo à do experimento que gerou aquela tabela.

Para isolar um dos efeitos que poderia ter causado a superioridade daquelas médias, as parcelas da tabela 3 foram classificadas por classe de sítio. Das 13 parcelas com altura dominante, cinco foram incluídas na classe de

sítio III, cinco na classe II e três na I (incluindo nessa a única parcela de Concórdia com valor de Hdom, a primeira parcela de Cascavel e a de Ponta Grossa). Ou seja, a distribuição em classes de sítio é aproximadamente a mesma dos dados desse trabalho. Logo, qualquer diferença entre os DAPs médios pode ser creditada à forma de implantação dos povoamentos ou a densidades iniciais menores que 2 mil plantas/ha.

Já os valores da tabela 5 são comumente um pouco maiores que a média da testemunha. Comparando-se os DAPs dessa tabela com as médias por classe de sítio, percebe-se que a maioria das parcelas inventariadas por CARPANEZZI et al. (1988) pertenceriam à classe de sítio II, caso tivessem sido classificadas. Assim, como quase metade das parcelas desse trabalho pertencem à classe III, as médias ficam sendo um pouco menores do que as daquela tabela. Mas os valores são comparáveis e muito próximos.

4.1.1.2 Crescimento em Função do Sítio

Os blocos (sítios) também influenciaram a evolução do DAP, volume e área transversal médios. Essa influência pode ser visualizada nas figuras 12, 13 e 14. Para melhor compreensão dos gráficos, convém lembrar que os blocos ficaram assim distribuídos: AT na classe de sítio I, BS e CC na classe II e ADR e BDR (localizados na mesma propriedade) na classe de sítio III.

Pode-se perceber o agrupamento preciso dos blocos em seus sítios, confirmando a prévia classificação dos mesmos.

4.1.1.3 Análise de Variância Para Efeitos de Densidade e Sítio

Foram realizadas então análises de variância para cada medição, a fim de se isolar os efeitos exercidos pelos blocos e pelos tratamentos na evolução de cada variável. Os resultados se encontram nos quadros 1, 2 e 3.

FIGURA 12 - DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE

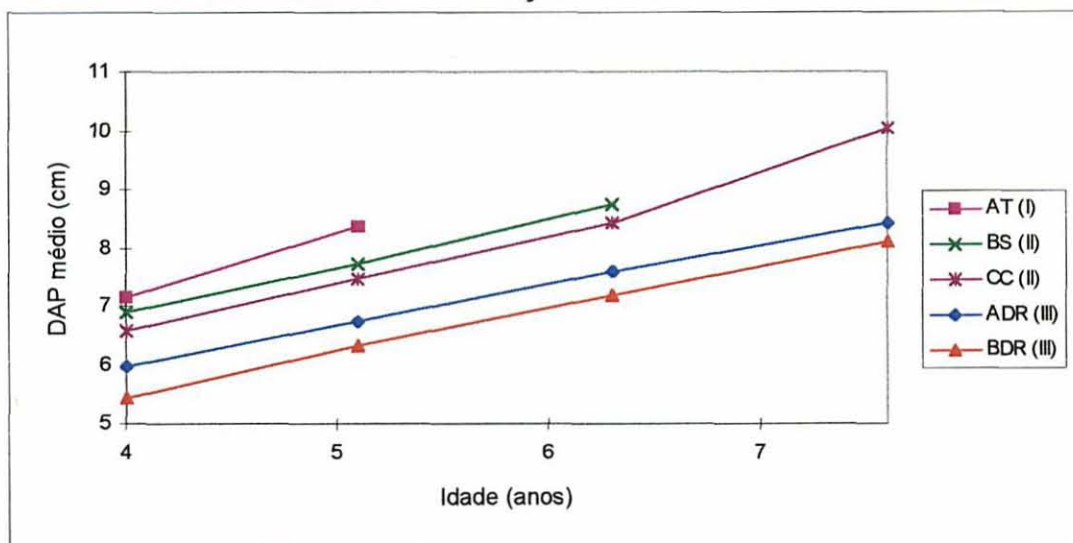


FIGURA 13 - VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE

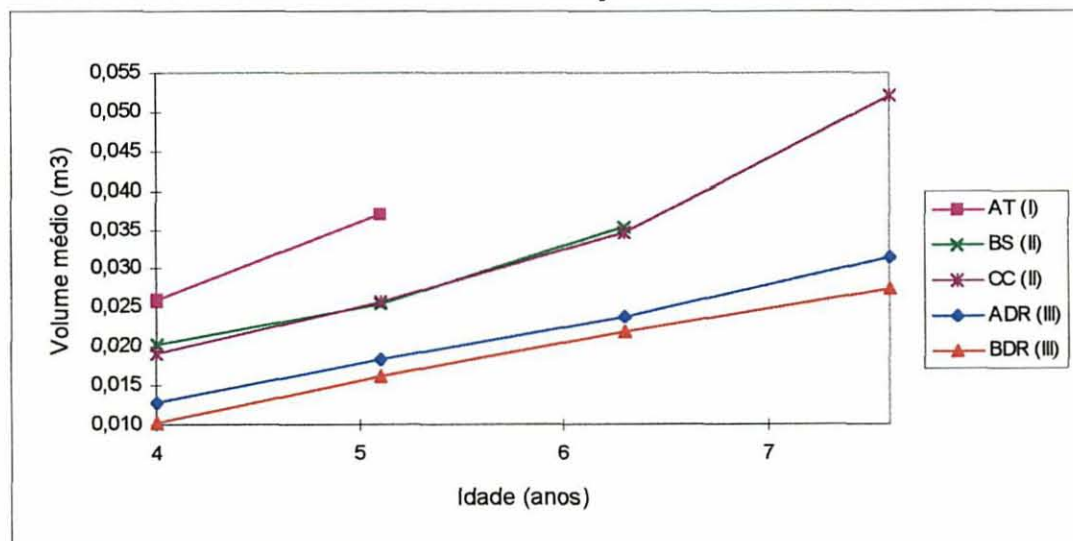
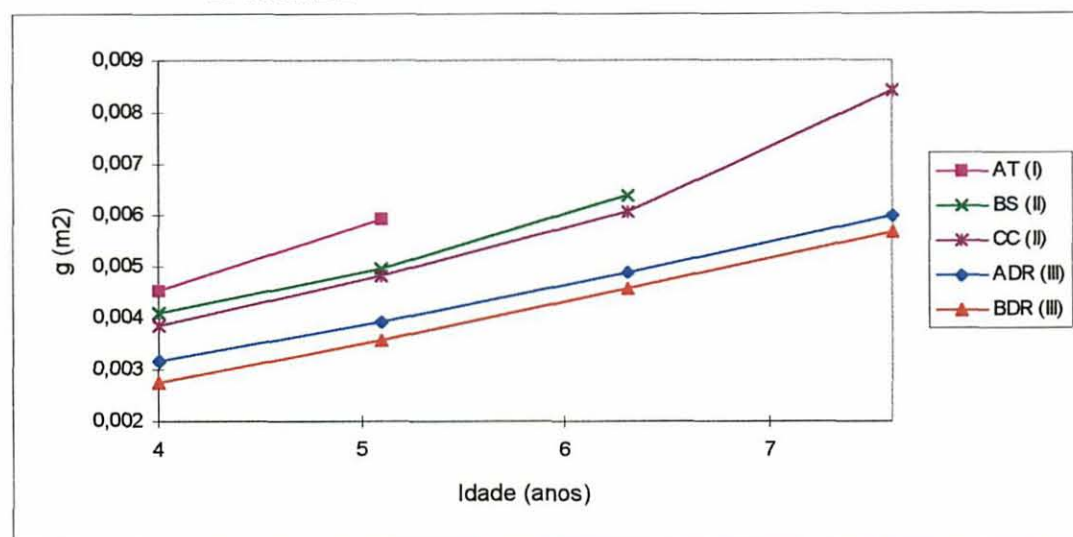


FIGURA 14 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE



QUADRO 1 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA DAP MÉDIO

MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	33,42150	11,14050	67,99898	0,0000**
Sítio	4	7,61800	1,90450	11,62462	0,0004**
Erro	12	1,96600	0,16383		
TOTAL	19	43,00550			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	22,60550	7,53517	21,85690	0,0000**
Sítio	4	10,25500	2,56375	7,43655	0,0030**
Erro	12	4,13700	0,34475		
TOTAL	19	36,99750			
MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	16,36688	5,45563	10,33561	0,0028**
Sítio	3	6,17188	2,05729	3,89751	0,0489*
Erro	9	4,75063	0,52785		
TOTAL	15	27,28938			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	17,35333	5,78444	8,56602	0,0137*
Sítio	2	8,58167	4,29083	6,35418	0,0330*
Erro	6	4,05167	0,67528		
TOTAL	11	29,98667			

QUADRO 2 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA VOLUME INDIVIDUAL

MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,00087	0,00029	41,38061	0,0000**
Sítio	4	0,00061	0,00015	21,80636	0,0000**
Erro	12	0,00008	0,00001		
TOTAL	19	0,00157			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,00090	0,00030	26,22771	0,0000**
Sítio	4	0,00107	0,00027	23,37173	0,0000**
Erro	12	0,00014	0,00001		
TOTAL	19	0,00212			

QUADRO 2 – cont.

MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,00074	0,00025	12,21245	0,0016**
Sítio	3	0,00059	0,00020	9,69424	0,0035**
Erro	9	0,00018	0,00002		
TOTAL	15	0,00152			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,00125	0,00042	7,35623	0,0196*
Sítio	2	0,00138	0,00069	12,21295	0,0077**
Erro	6	0,00034	0,00006		
TOTAL	11	0,00296			

QUADRO 3 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA

MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	$3,56 \cdot 10^{-5}$	$1,19 \cdot 10^{-5}$	59,60142	0,0000**
Sítio	4	$8,28 \cdot 10^{-6}$	$2,07 \cdot 10^{-6}$	10,40496	0,0007**
Erro	12	$2,39 \cdot 10^{-6}$	$1,99 \cdot 10^{-7}$		
TOTAL	19	$4,62 \cdot 10^{-5}$			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	$3,03 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^{-5}$	23,23317	0,0000**
Sítio	4	$1,37 \cdot 10^{-5}$	$3,41 \cdot 10^{-6}$	7,84224	0,0024**
Erro	12	$5,22 \cdot 10^{-6}$	$4,35 \cdot 10^{-7}$		
TOTAL	19	$4,92 \cdot 10^{-5}$			
MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	$2,53 \cdot 10^{-5}$	$8,43 \cdot 10^{-6}$	9,99332	0,0032**
Sítio	3	$9,37 \cdot 10^{-6}$	$3,12 \cdot 10^{-6}$	3,70122	0,0553
Erro	9	$7,60 \cdot 10^{-6}$	$8,44 \cdot 10^{-7}$		
TOTAL	15	$4,23 \cdot 10^{-5}$			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	$3,33 \cdot 10^{-5}$	$1,11 \cdot 10^{-5}$	9,27105	0,0114*
Sítio	2	$1,82 \cdot 10^{-5}$	$9,12 \cdot 10^{-6}$	7,61683	0,0226*
Erro	6	$7,19 \cdot 10^{-6}$	$1,20 \cdot 10^{-6}$		
TOTAL	11	$5,87 \cdot 10^{-5}$			

Para o DAP e volume médios, tanto a diferença devida aos tratamentos como a devida aos blocos são estatisticamente significativas ao nível de 5% para todas as medições. Para a variável g, somente o efeito dos blocos na 5ª medição não resultou significativo. Logo, tanto as diferentes densidades iniciais como os diferentes sítios afetaram significativamente o crescimento das variáveis em questão.

Percebe-se que, com o passar do tempo, o nível de significância da diferença entre os tratamentos vai diminuindo. Isso indica que, à medida que o povoamento envelhece, as médias de diâmetro, área transversal e volume das diferentes densidades iniciais se aproximam.

As tabelas 14 e 15 mostram as diferenças percentuais entre as médias dos tratamentos para cada medição. As percentagens consistem nas diferenças entre a maior média (correspondente ao tratamento 1, de 2 mil plantas/ha) e a do tratamento em questão, em relação ao tratamento 1.

TABELA 14 - DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE AS MÉDIAS DE DAP DE CADA DENSIDADE EM RELAÇÃO À DENSIDADE 2 MIL PLANTAS/HA

Tratamentos	Medições			
	3	4	5	6
2000	0,00	0,00	0,00	0,00
4000	18,75	13,74	9,84	7,67
8000	31,01	24,55	22,61	25,24
Testemunha	41,83	31,76	27,39	27,16

TABELA 15 - DIFERENÇAS PERCENTUAIS ENTRE AS MÉDIAS DE VOLUME INDIVIDUAL DE CADA DENSIDADE EM RELAÇÃO À DENSIDADE 2 MIL PLANTAS/HA

Tratamentos	Medições			
	3	4	5	6
2000	0,00	0,00	0,00	0,00
4000	29,95	19,54	14,26	4,50
8000	49,87	40,63	39,96	42,60
Testemunha	63,71	51,12	44,95	45,95

Note-se que, percentualmente, as diferenças entre as médias de DAP e volume dos tratamentos vão diminuindo com o passar do tempo. Para o tratamento 2, essa diminuição continua até a última medição, enquanto que para o 3 essa diferença estabiliza na 4ª medição e para a testemunha na 5ª. Essa convergência dos tratamentos provavelmente ocorre devido a duas causas principais: maior mortalidade de árvores menores nas densidades mais altas e o aumento precoce do valor dessas variáveis em povoamentos menos densos. Calculando-se as taxas de crescimento do DAP médio no período entre a 3ª e a 4ª medição, obtém-se 7, 13, 17 e 25% de aumento em relação à medição anterior, respectivamente para os tratamentos 1, 2, 3 e 4. Isso mostra que a verdadeira diferença entre essas médias foi causada pelo crescimento ocorrido antes dos 4 anos de idade.

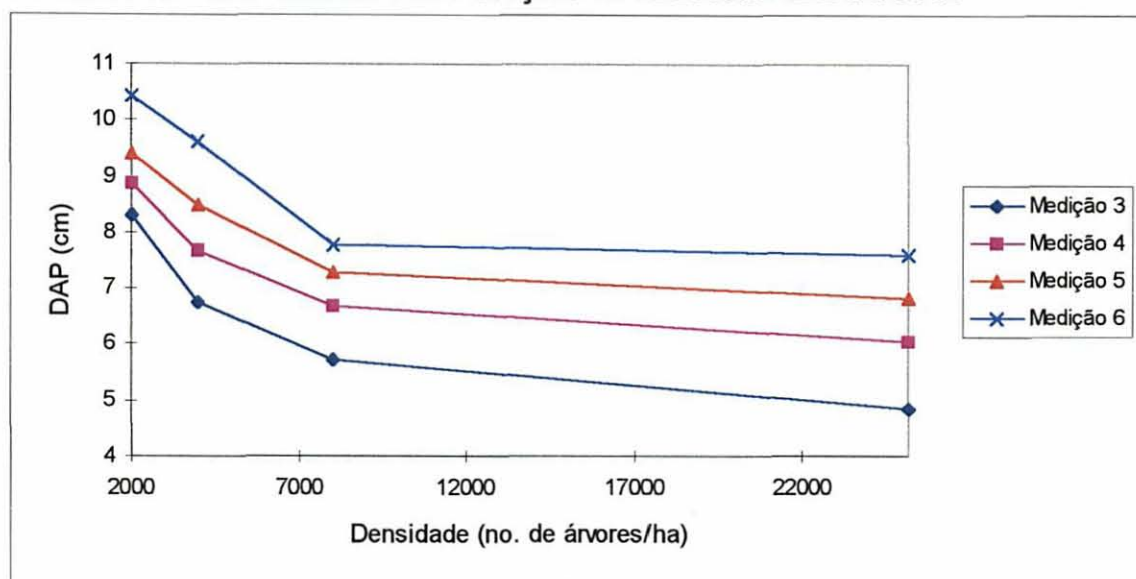
A significância do efeito dos blocos também diminuiu com o passar do tempo. Essa diminuição é mais facilmente interpretada: o único bloco da classe de sítio I deixou de ser avaliado na 5ª medição e um dos blocos da classe II foi eliminado na 6ª. Dessa forma, é compreensível que a disparidade das médias devidas aos blocos tenha diminuído. Para as variáveis DAP e g, a significância foi ainda menor na 5ª medição (sendo inclusive não significativa para a última), devido à exclusão da classe de sítio I (índice de 16,8 m).

4.1.1.4 Efeito da Densidade Inicial

O comportamento das variáveis em relação à densidade inicial é mostrado na figura 15 para DAP médio, e é praticamente o mesmo para volume e g. Há uma queda acentuada do valor da variável com o aumento da densidade, até um certo ponto em que esse valor passa a decrescer muito lentamente, atingindo quase que uma estabilidade.

Testaram-se diversos modelos logarítmicos, exponenciais e quadráticos que pudessem representar o padrão apresentado na figura 15. Os modelos com a variável densidade inicial elevada a 1,4 foram obtidos através de tentativas com diversos expoentes, sendo que as equações com esse termo forneceram os mais elevados valores de R^2 .

FIGURA 15 - DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL



Os modelos ajustados estão apresentados na tabela 16. Os coeficientes de cada um com os respectivos valores de R^2 , R^2 ajustado e erro padrão da estimativa S_{xy} (em percentagem, para permitir comparações), para a variável DAP, terceira medição (aproximadamente 4 anos de idade - primeira medição de DAP), são mostrados na tabela 17.

TABELA 16 - MODELOS TESTADOS PARA OS DADOS DE DAP, VOLUME E ÁREA TRANSVERSAL MÉDIOS E RESPECTIVOS NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO

Nº	Modelo
1	$Y = a + b \cdot S + c \cdot \ln N_0$
2	$Y = b \cdot S + c \cdot \ln N_0$
3	$Y = a + b \cdot S + c \cdot N_0 + d \cdot N_0^2$
4	$Y = b \cdot S + c \cdot N_0 + d \cdot N_0^2$
5	$Y = a \cdot S^b \cdot N_0^c$
6	$Y = S^b \cdot N_0^c$
7	$Y = a + b \cdot S + c \cdot N_0^{1,4}$
8	$Y = b \cdot S + c \cdot N_0^{1,4}$

Onde: Y = variável de resposta (DAP, g ou v, em cm, m² ou m³)

a, b, c, d = coeficientes ajustados para cada idade

S = índice de sítio (m)

N_0 = densidade inicial (nº de plantas/ha)

TABELA 17 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE DIVERSOS MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO DE BRACATINGAIS COM IDADE APROXIMADA DE 4 ANOS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL

Modelo	a	b	c	d	R ²	R ² ajust.	S _{xy} %
1	15,4639	0,2301	-1,3737	-----	0,9104	0,8999	7,42
2	-----	0,5102	-0,03082	-----	0,9478	0,9421	24,69
3	6,06453	0,1999	-4,000.10⁻⁴	8,764.10⁻⁹	0,8767	0,8536	8,97
4	-----	0,5817	1,686.10 ⁻⁴	2,207.10 ⁻⁹	0,9703	0,9651	19,18
5	11,9432	0,5121	-0,2228	-----	0,9111	0,9006	7,01
6	-----	3,1984	-0,1287	-----	0,9917	0,9908	18,25
7	4,0619	0,2423	-1,570.10⁻⁶	-----	0,6375	0,5949	14,93
8	-----	0,5427	-1,445.10⁻⁶	-----	0,9686	0,9651	19,17

Coefficientes em **negrito** são significativos ao nível de 5%.

Percebe-se que os modelos sem o termo “a” (*intercepto*), quando comparados com o mesmo modelo com esse termo incluído, apresentam maiores valores de R², mas, em compensação, também têm maiores erros padrão da estimativa percentuais. Além dessas estatísticas, analisou-se também a distribuição de resíduos e a representação gráfica dessas equações, quando comparadas com os dados observados. A distribuição de resíduos foi o grande diferencial na escolha dos melhores modelos.

O modelo escolhido foi o nº 5: $Y = a \cdot S^b \cdot N_0^c$. Embora ele não tenha o maior valor de R², essa equação gera o menor erro padrão da estimativa e apresenta a melhor distribuição de resíduos. Além disso, todos os seus coeficientes são significativos a 99%.

O modelo 1 ($Y = a + b \cdot S + c \cdot \ln N_0$) apresentou resultados muito próximos do escolhido, sendo também considerada uma boa opção para a estimativa dessas variáveis.

A figura 16 mostra a representação gráfica da equação 5, para as 3 classes de sítio. A distribuição de resíduos é apresentada na figura 17. Nota-se que nem os resíduos positivos nem os negativos chegam a atingir 1 cm, apresentando distribuição uniforme, com ligeira tendenciosidade para os valores acima de 7,5 cm.

FIGURA 16 - DAP MÉDIO COMO FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE

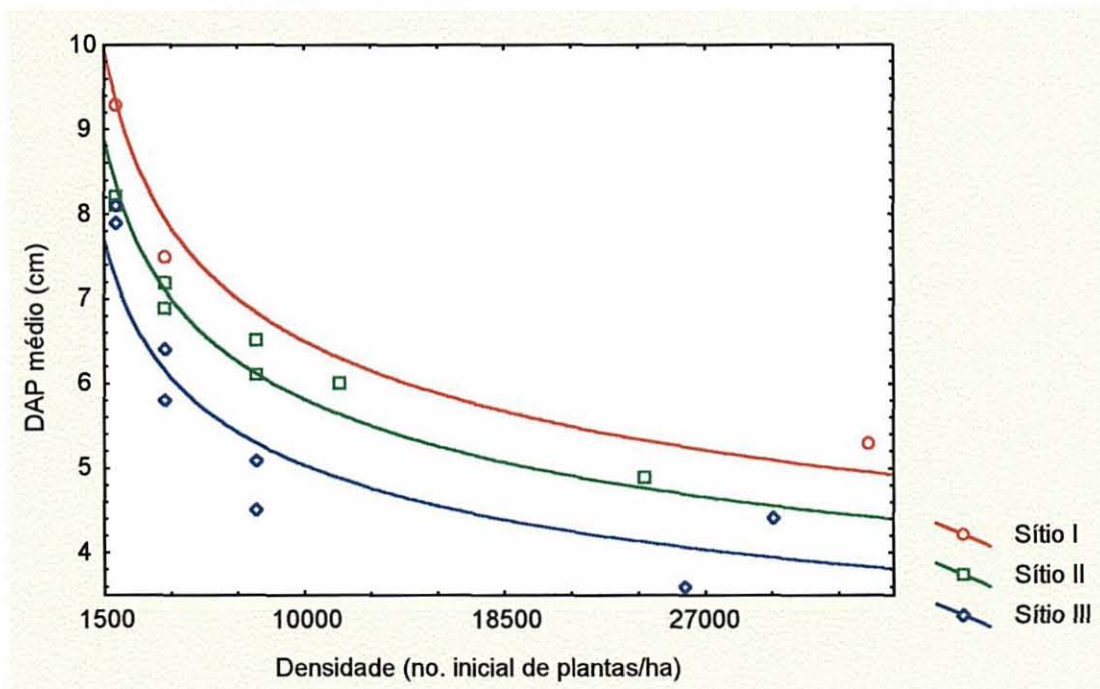
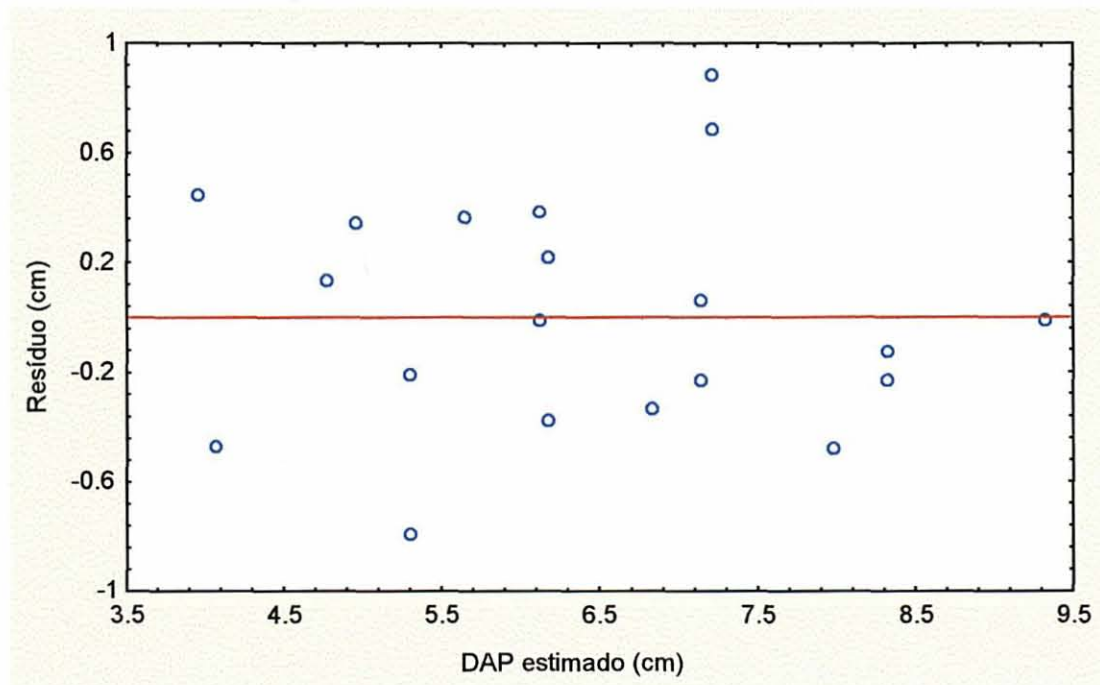


FIGURA 17 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DA EQUAÇÃO DE DAP EM FUNÇÃO DA DENSIDADE AOS 4 ANOS DE IDADE



O modelo foi ajustado para cada variável e cada medição, e calculado para cada classe de sítio. Através da figura 16 pode-se fazer a análise de tendência da variável em função do tratamento e através da equação pode-se

estimar o DAP para a idade em questão, em qualquer sítio. Os demais gráficos e as equações escolhidas encontram-se no anexo 4.

Observando-se as estatísticas desse anexo, percebe-se que o modelo 5 foi o escolhido para todas as medições e variáveis, provando sua adequação para modelagem de DAP, g e v em função da densidade inicial.

Analisando-se as estatísticas das equações a diferentes idades, observa-se que, com o passar do tempo, o R^2 diminui, enquanto o erro aumenta e alguns coeficientes perdem significância. Isso explica-se pelo fato que, conforme demonstrado na análise de variância, à medida que os povoamentos envelhecem, as médias de DAP se aproximam, provavelmente devido à mortalidade maior nas parcelas mais densas. Assim, as densidades passariam a exercer menor influência sobre as variáveis DAP, g e volume individual. Quanto às classes de sítio, as duas últimas medições não contam com parcelas das classes I, e I e II, respectivamente, fazendo com que o índice de sítio torne-se uma variável menos importante nessas idades.

O resultado da comparação feita pela análise de tendência é aquele que já se percebia na figura 15, em que, à medida que aumenta a densidade inicial, diminuem os valores médios de DAP, até um certo ponto onde esse decréscimo passa a ser muito leve, levando à estabilização.

Para as duas últimas idades, no entanto, o modelo 5 apresentou ajuste semelhante aos modelos quadráticos (3 e 4). Isso significa que, depois de uma certa idade, o DAP, g e v médios das parcelas que foram deixadas com o número total de árvores (testemunha), ultrapassariam os das parcelas do tratamento 3 (8 mil plantas/ha). Observando-se os gráficos, no entanto, percebe-se essa tendência, que melhoraria as equações quadráticas, para o sítio III, mas não para o sítio II, cujas médias continuam caindo. Além disso, não existem medições da classe de sítio I nessa idade. Portanto, os modelos escolhidos, mesmo para essas idades, foi o número 5.

4.1.1.5 Efeito do Sítio

Pelas razões já justificadas no item 3.7.3, os dados usados para o teste de Tukey, cujos resultados encontram-se nas tabelas 18, 19 e 20, foram interpolados para uma mesma idade. Não houve diferença significativa devida aos blocos para a variável g, medição 5 (aproximadamente 6,3 anos de idade), conforme quadro 3.

TABELA 18 - MÉDIA DE DAP DOS BLOCOS

Blocos	4,1 anos		5,1 anos		6,3 anos		7,6 anos	
	Média		Média		Média		Média	
BDR	5,3	a	6,1	a	7,1	a	8,0	a
ADR	5,9	a b	6,5	a b	7,5	a b	8,4	a b
CC	6,5	b c	7,5	b c	8,3	a b	10,1	b
BS	6,9	c	7,7	b c	8,8	b	-----	
AT	7,3	c	8,6	c	-----		-----	

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

TABELA 19 - MÉDIA DE VOLUME INDIVIDUAL DOS BLOCOS

Blocos	4,1 anos		5,1 anos		6,3 anos		7,6 anos	
	Média		Média		Média		Média	
BDR	0,00938	a	0,0143	a	0,0213	a	0,0275	a
ADR	0,0120	a	0,0166	a	0,0233	a	0,0316	a
CC	0,0183	b	0,0258	b	0,0339	b	0,0535	b
BS	0,0203	b	0,0257	b	0,0354	b	-----	
AT	0,0272	c	0,0396	c	-----		-----	

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

TABELA 20 - MÉDIA DE ÁREA TRANSVERSAL DOS BLOCOS

Blocos	4,1 anos		5,1 anos		7,6 anos	
	Média		Média		Média	
BDR	0,002610	a	0,003299	a	0,005670	a
ADR	0,003043	a b	0,003687	a b	0,005986	a
CC	0,003751	b c	0,004833	b	0,008625	b
BS	0,004124	c	0,004979	b c	-----	
AT	0,004679	c	0,006233	c	-----	

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

Os resultados dos testes de Tukey ratificam a classificação de sítios feita com base na altura dominante. A variável volume, devido à influência da altura, teve os blocos mais claramente agrupados por classes de sítio. Para DAP e área transversal, percebe-se que esse agrupamento dos blocos fica mais claro com a idade.

Os testes para volume individual confirmaram que sítios melhores produzem árvores maiores, o que interessa a quem quiser produzir bracatinga para outros fins que não lenha.

4.1.2 ALTURA MÉDIA (h) E ALTURA DOMINANTE (Hdom)

4.1.2.1 Crescimento em Função da Densidade Inicial

As alturas dominantes para as últimas medições dos blocos AT e BS foram estimadas através da equação 3 (item 3.7.1.1). Em seguida, estimou-se a altura média para as mesmas idades e parcelas através da seguinte equação:

$$h = 0,885653 \cdot H_{dom} \quad (7),$$

que apresentou as seguintes estatísticas: $R^2_{ajustado} = 0,997$; S_{xy} (erro padrão da estimativa) = 0,5795 (7,5%) e boa distribuição de resíduos.

É esperado que a densidade não afete a altura tanto quanto afeta o diâmetro. A altura dominante, por sua vez, deveria ser ainda menos influenciada por diferenças de densidade que a altura média. As figuras 18 e 19 confirmam essas expectativas. Apenas a última medição de altura dominante parece apresentar maiores diferenças, mas somente o resultado da análise de variância poderá esclarecer se essas são significativas ou não.

FIGURA 18 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE

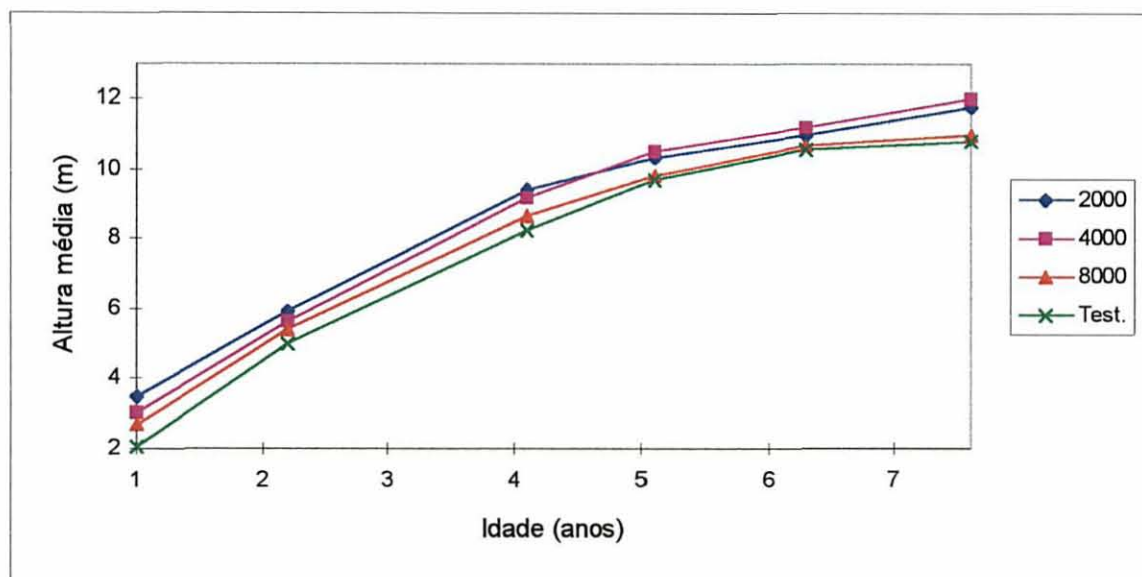
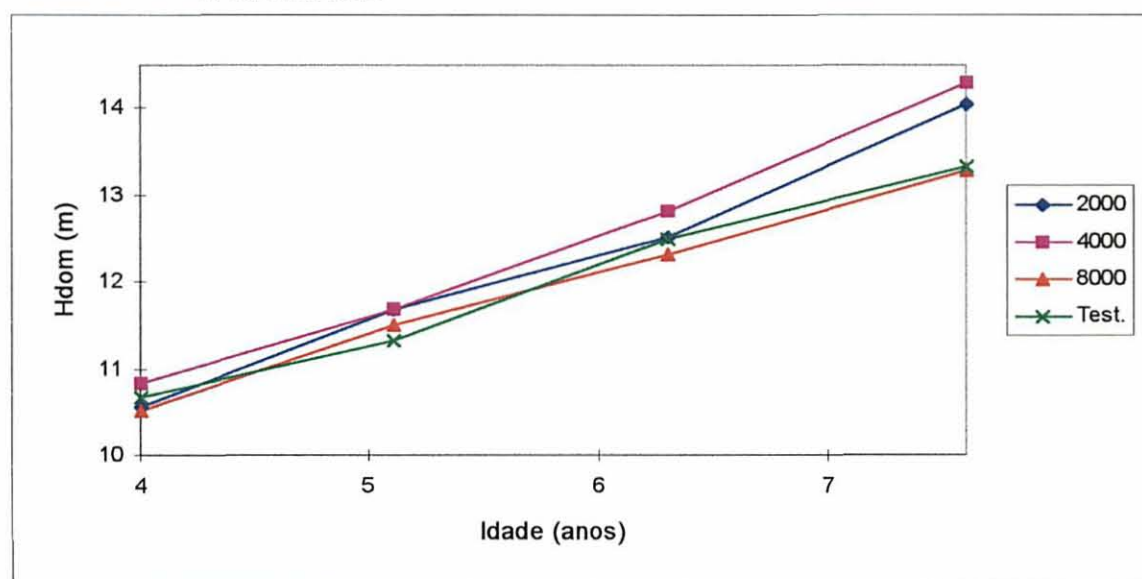


FIGURA 19 - ALTURA DOMINANTE EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE



Com relação aos incrementos, a tendência do IMA e do IPA para a variável altura foi mais clara que para o DAP: ambos estavam em declínio desde o segundo período de medição. Ou seja, o maior IMA foi o obtido à idade de um ano e o maior IPA no período entre 2,2 e um ano. O IMA foi inversamente proporcional à densidade inicial, com exceção do tratamento 2, que apresentou os maiores valores a partir da quarta medição. O IPA, por sua vez, não pareceu seguir nenhum padrão. Esse resultado não é surpreendente, uma vez que o comportamento do IMA é mais estável que o do IPA (ou ICA).

Para altura dominante, o valor máximo de IMA também foi atingido na primeira medição (4 anos), ou antes. Embora os valores tenham diminuído um pouco com o aumento da densidade inicial, as diferenças foram muito pequenas. Ou seja, o tratamento pareceu não influenciar o incremento médio anual em Hdom, o que confirma a teoria a respeito dessa variável. A série de IPA, por sua vez, não demonstrou nenhuma tendência visível.

Os valores de altura média obtidos nesse experimento parecem ser coerentes com valores obtidos por outros autores, para bracatingais originados pelo sistema de manejo tradicional. Ou seja, populações implantadas através de mudas ou adubadas não parecem ser comparáveis a esses dados.

Os valores obtidos para altura média e IMA nas parcelas controle do trabalho de AHRENS (1981), já citadas para DAP, são mostradas na tabela 21. As quatro primeiras parcelas foram plantadas com mudas, enquanto que as demais sofreram queimada e regeneração natural.

TABELA 21 - ALTURAS MÉDIAS DE PARCELAS DE OBSERVAÇÃO ESTABELECIDAS EM POVOAMENTOS EQUILÂNEOS

Parc. nº	Local	Idade (anos)	N (nºárv./ha)	h (m)	IMA (m/ano)
1	Concórdia, SC	2	3100	8,83	4,42
2	Concórdia, SC	2	2750	8,97	4,48
3	Concórdia, SC	4	1650	13,99	3,50
4	Pinhão, PR	5	1650	13,79	2,75
5	Colombo, PR	6	2800	11,51	1,92
6	Colombo, PR	6	5000	8,83	1,47
7	Colombo, PR	6	6900	7,60	1,26

Fonte: AHRENS, 1981.

Confirma-se aqui o que já havia sido mencionado: as quatro primeiras parcelas não podem ser comparadas com as do presente trabalho. As parcelas 1, 2, 3 e 4 apresentaram alturas médias muito superiores às máximas obtidas nas respectivas idades, o que pode ser conferido na figura 18. O que não se sabe, porém, é se essa superioridade é causada pelo estabelecimento por plantios de mudas (que CARPANEZZI et al., 1988, consideraram preferível em comparação ao plantio direto), ou por um sítio de qualidade muito superior,

uma vez que as quatro parcelas que foram assim estabelecidas também se encontravam em locais diferentes.

Quanto às outras parcelas, a 5 apresentou resultado um pouco superior mas bastante condizente com a variação observada na idade de 6,3 anos. As parcelas 6 e 7, no entanto, atingiram alturas no mínimo 17% menores que as obtidas à idade mais próxima pelo presente trabalho.

MATTOS e MATTOS (1980) afirmaram que a bracatinga é uma das espécies brasileiras de crescimento mais rápido, atingindo 5 m aos 2 anos de idade. O presente trabalho ratifica essa afirmação, sendo 5 m a altura média atingida pela testemunha à idade de 2,2 anos.

Quanto à densidade inicial influenciando a altura, CARPANEZZI (1994), em medições até 2,4 anos de idade, encontrou médias mais altas para bracatingais sem consorciação com culturas agrícolas, mas com densidade reduzida por desbaste para 9,5 mil plantas/ha e a mais baixa para um bracatingal também sem consorciação, mas com densidade inicial intocada. Cabe notar que o desbaste foi realizado com base no vigor das plantas e que, portanto, os diferentes tratamentos devem tender a uma aproximação, até que não haja mais diferença significativa, como no presente trabalho.

Comparando-se as médias de altura obtidas nesse trabalho com aquelas da tabela 3, observa-se que as médias de altura são muito próximas e muitas vezes as obtidas da figura 18 são maiores que as da tabela. Isso é compreensível sabendo-se que a distribuição das parcelas em classes de sítio é a mesma, conforme classificação feita no item 4.1.1.1. Os dois casos em que a diferença é muito grande são os das parcelas de Concórdia-SC, conhecido sítio de alta produtividade. Esses resultados ratificam a pouca influência do manejo e alta influência do sítio sobre a variável altura.

4.1.2.2 Crescimento em Função do Sítio

A princípio, espera-se uma forte influência dos blocos (sítios) sobre as variáveis altura e altura dominante, uma vez que a classificação dos mesmos em sítios foi feita com base nessa última variável. As figuras 20 e 21 ilustram esses efeitos, onde mais uma vez se percebe a nítida separação dos blocos em suas classes de sítio.

FIGURA 20 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE

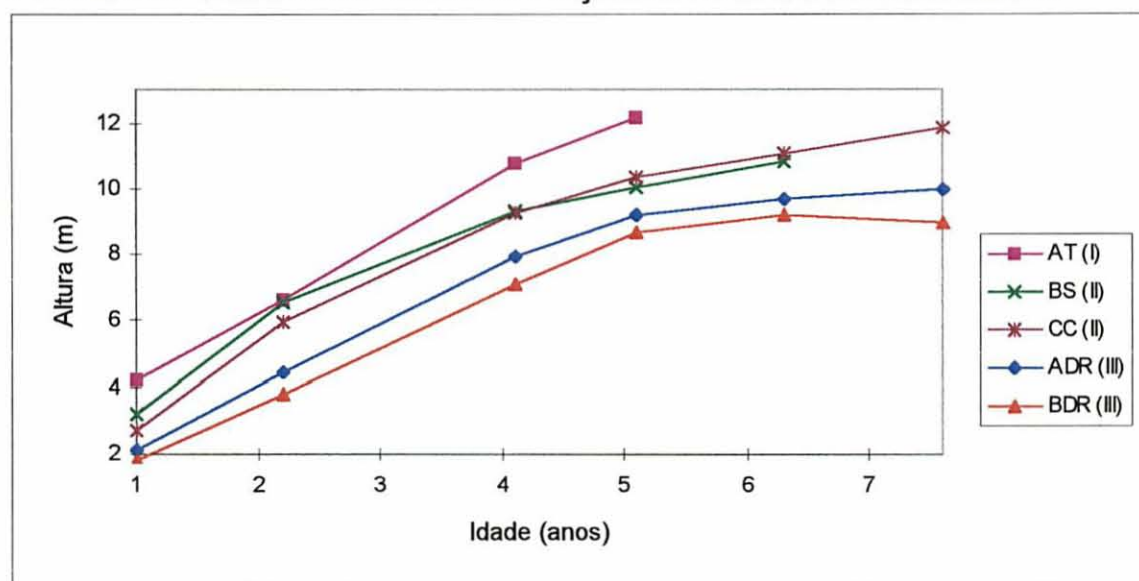
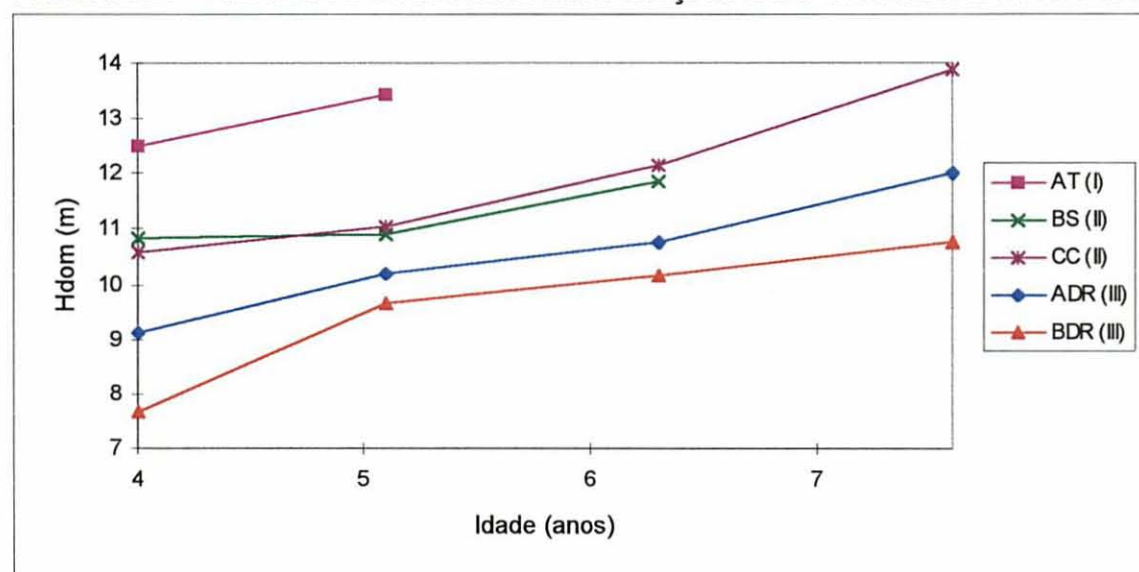


FIGURA 21 - ALTURA DOMINANTE EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE



4.1.2.3 Análise de Variância Para Efeitos de Densidade e Sítio

Os resultados da análise de variância para alturas média e dominante encontram-se nos quadros 4 e 5.

QUADRO 4 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ALTURA MÉDIA

MEDIÇÃO 1					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	5,75139	1,91713	11,18934	0,0009**
Sítio	4	14,85026	3,71256	21,66840	0,0000**
Erro	12	2,05603	0,17134		
TOTAL	19	22,65768			
MEDIÇÃO 2					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	2,35522	0,78507	5,98900	0,0098**
Sítio	4	26,50113	6,62528	50,54156	0,0000**
Erro	12	1,57303	0,13109		
TOTAL	19	30,42938			
MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	4,02440	1,34147	8,40979	0,0028**
Sítio	4	32,14705	8,03676	50,38327	0,0000**
Erro	12	1,91415	0,15951		
TOTAL	19	38,08560			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	2,18354	0,72785	5,12766	0,0164*
Sítio	4	28,27418	7,06854	49,79777	0,0000**
Erro	12	1,70334	0,14195		
TOTAL	19	32,16105			
MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	1,49255	0,49752	2,51186	0,1244
Sítio	3	9,50145	3,16715	15,99032	0,0006**
Erro	9	1,78260	0,19807		
TOTAL	15	12,77660			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	6,37403	2,12468	3,11398	0,1098
Sítio	2	17,68772	8,84386	12,96178	0,0066**
Erro	6	4,09382	0,68230		
TOTAL	11	28,15557			

QUADRO 5 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ALTURA DOMINANTE

MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,25818	0,08606	0,33474	0,8005
Sítio	4	53,12178	13,28045	51,65646	0,0000**
Erro	12	3,08510	0,25709		
TOTAL	19	56,46506			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,45185	0,15062	0,65859	0,5931
Sítio	4	33,68007	8,42002	36,81727	0,0000**
Erro	12	2,74437	0,22870		
TOTAL	19	36,87629			
MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	0,67572	0,22524	0,63222	0,6125
Sítio	3	10,71642	3,57214	10,02652	0,0031**
Erro	9	3,20643	0,35627		
TOTAL	15	14,59857			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	5,01600	1,67200	3,47929	0,0906
Sítio	2	20,07185	10,03592	20,88388	0,0020**
Erro	6	2,88335	0,48056		
TOTAL	11	27,97120			

Os resultados da ANOVA foram os esperados para as variáveis altura média e dominante: pouca influência da densidade inicial (tratamentos) e forte influência do sítio (blocos). Os resultados significativos para tratamentos nas primeiras medições de altura média são compreensíveis: no estabelecimento do experimento, quando se fez o desbaste à idade de 1 ano, retiraram-se as árvores mais baixas. Assim, as parcelas com maior densidade ficaram com uma altura média consideravelmente menor e vice-versa. Depois que a altura média dessas parcelas alcançou as das demais, o que aconteceu em 4 a 5 anos, o tratamento passou a ser irrelevante no crescimento dessa variável.

No caso da altura dominante, os resultados apresentados comprovam a teoria a respeito dessa variável: nenhuma diferença devida à densidade e

diferenças altamente significativas causadas pelo sítio. Outro dado fornecido pela análise de variância foi que mesmo a última medição de altura dominante não apresentou diferença estatisticamente significativa devido aos tratamentos, como a figura 19 poderia fazer supor.

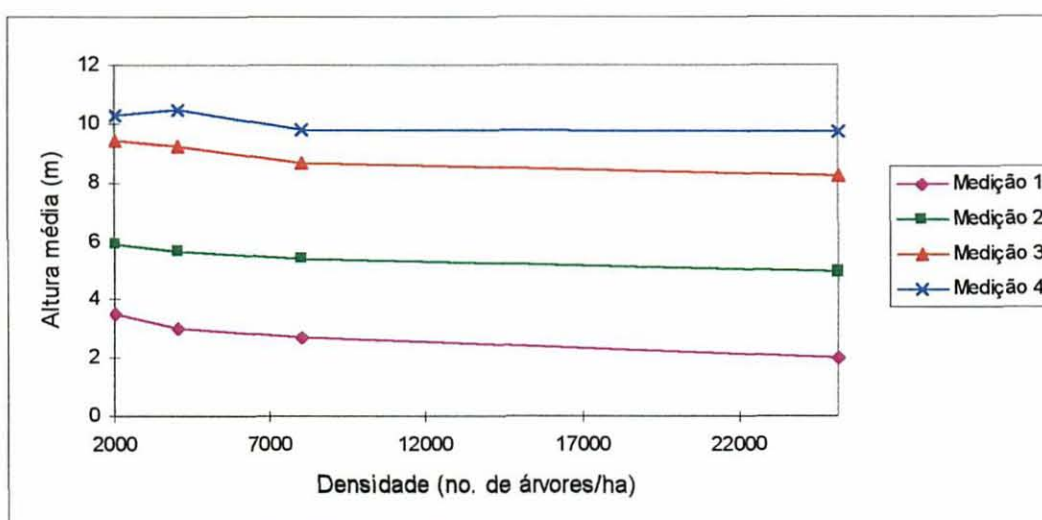
Como já havia acontecido para as variáveis anteriores, também para as alturas percebe-se uma diminuição das diferenças com o passar do tempo. O motivo é o mesmo: eliminação das medições da classe de sítio I e de um dos blocos da classe II, o que diminui consideravelmente a variação causada por essa fonte.

4.1.2.4 Efeito da Densidade Inicial

Conforme já explicado para as variáveis anteriores, foi feita uma análise de tendência da altura média em função da densidade, nas quatro primeiras medições. Para a mesma variável nas idades 6,3 e 7,6 anos e para a altura dominante, essa análise não foi necessária, pois a análise de variância não detectou diferença significativa.

O padrão de comportamento da altura média em função da densidade inicial está demonstrado na figura 22. Percebe-se que o valor médio diminui com o aumento da densidade nas primeiras medições, devido ao corte seletivo ocorrido na idade de um ano e que eliminou as árvores mais baixas.

FIGURA 22 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL



Os modelos testados para descrever o comportamento descrito pelo gráfico estão apresentados na tabela 22 e os seus coeficientes e estatísticas, para a variável altura média, medição 3 (aproximadamente 4 anos de idade), são encontrados na tabela 23.

TABELA 22 - MODELOS TESTADOS PARA OS DADOS DE ALTURA MÉDIA E RESPECTIVOS NÚMEROS DE IDENTIFICAÇÃO

Nº	Modelo
1	$h = a + b \cdot \ln S + c \cdot \ln N_0$
2	$h = b \cdot \ln S + c \cdot \ln N_0$
3	$h = a + b \cdot S + c \cdot \ln N_0$
4	$h = b \cdot S + c \cdot \ln N_0$
5	$h = a + b \cdot S + c \cdot N_0 + d \cdot N_0^2$
6	$h = b \cdot S + c \cdot N_0 + d \cdot N_0^2$
7	$h = a \cdot S^b \cdot N_0^c$
8	$h = S^b \cdot N_0^c$
9	$h = a + b \cdot S + c \cdot N_0$
10	$h = b \cdot S + c \cdot N_0$

Onde: h = altura média (m)

a, b, c, d = coeficientes ajustados para cada idade

S = índice de sítio (m)

N_0 = densidade inicial (nº de plantas remanescentes/ha)

TABELA 23 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE DIVERSOS MODELOS MATEMÁTICOS AJUSTADOS PARA ESTIMATIVA DE ALTURA MÉDIA DE BRACATINGAIS COM IDADE APROXIMADA DE 4 ANOS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL

Modelo	a	b	c	d	R ²	R ² ajust.	S _{xy} %
1	-3,6409	6,4904	-0,4495	-----	0,8975	0,8855	5,40
2	-----	5,5353	-0,5876	-----	0,9970	0,9966	5,87
3	6,4420	0,5012	-0,4575	-----	0,8986	0,8867	5,37
4	-----	0,6179	0,1019	-----	0,9932	0,9924	8,82
5	3,3572	0,4902	-1,409.10⁻⁴	3,139.10⁻⁹	0,8999	0,8811	5,50
6	-----	0,7016	-1,298.10⁻⁵	4,911.10⁻¹⁰	0,9938	0,9927	8,67
7	2,1257	0,7303	-0,04959	-----	0,8877	0,8745	5,08
8	-----	0,9281	-0,02098	-----	0,9990	0,9989	7,18
9	2,7768	0,5039	-3,750.10⁻⁵	-----	0,8753	0,8606	5,95
10	-----	0,7061	-2,888.10⁻⁵	-----	0,9937	0,9931	8,44

Coeficientes em **negrito** são significativos ao nível de 5% de significância.

Mais uma vez, como no caso das variáveis DAP, g e v, os modelos com o termo “a” originaram equações que geraram erros menores. Também é interessante notar que os coeficientes da variável índice de sítio sempre foram significativos, para todos os modelos. Os coeficientes da densidade, no entanto, nem sempre o foram, confirmando a influência mais marcante do sítio do que da densidade sobre a variável h média.

Apesar de todas as equações apresentarem ajustes satisfatórios, alguns modelos não fazem muito sentido com o fenômeno sob análise, como, por exemplo, os quadráticos e lineares. A escolha acabou se fazendo entre as equações 1, 3 e 7.

Com base em análises visuais dos gráficos de resíduos, optou-se pelo uso do modelo 7 ($h = a \cdot S^b \cdot N_0^c$) também para a estimativa das variáveis altura e altura dominante (o mesmo escolhido para DAP). Tanto o modelo 1 ($h = a + b \cdot \ln S + c \cdot \ln N_0$) como o 3 ($h = a + b \cdot S + c \cdot \ln N_0$) também geraram estimativas bastante confiáveis.

A figura 23 mostra a representação gráfica da equação escolhida, assim como os valores observados de altura média à idade de 4 anos aproximados, para as 3 classes de sítio consideradas.

A figura 24 mostra a distribuição de resíduos da equação. Percebe-se uma distribuição razoavelmente uniforme e, com exceção de um único ponto que ultrapassa esse valor, todos os demais resíduos ficam restritos à faixa de mais ou menos 0,7 m de diferença do valor estimado.

Os resultados dos ajustes e as representações gráficas para as demais idades são apresentados no anexo 5. A escolha do melhor modelo, feita com base nos valores de R^2 ajustado, S_{xy} , valor de F e análise de resíduos, também acabou ficando entre os modelos 1, 3 e 7, e suas variantes sem o termo “a” (*intercepto*).

A análise de tendências confirmou a pequena influência exercida pela densidade inicial sobre a variável altura média.

FIGURA 23 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE

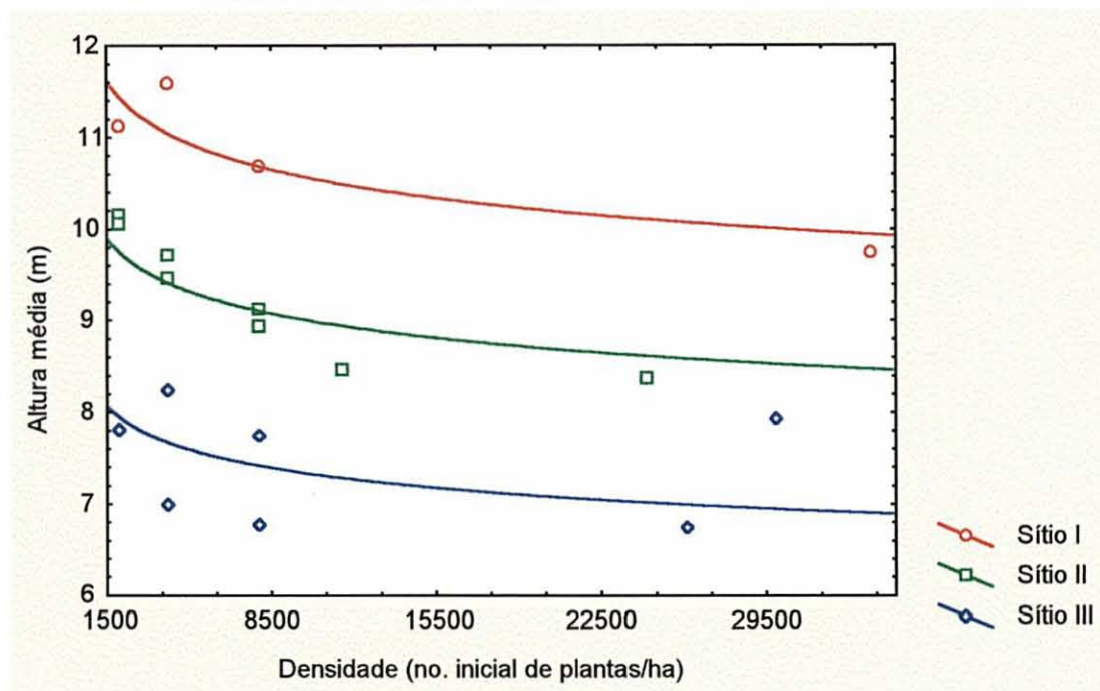
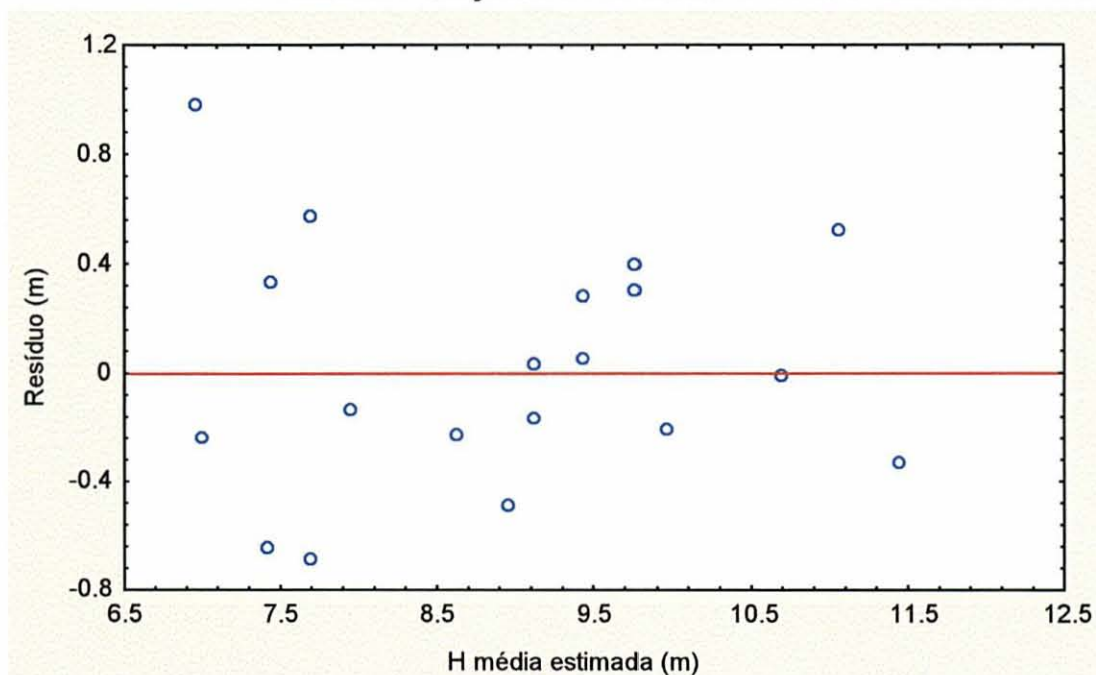


FIGURA 24 - DISTRIBUIÇÃO DE RESÍDUOS DA EQUAÇÃO DE ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE AOS 4 ANOS DE IDADE



4.1.2.5 Efeito do Sítio

Os dados utilizados foram obtidos por interpolação para a mesma idade. Os resultados obtidos estão apresentados nas tabelas 24, 25 e 26.

TABELA 24 - MÉDIA DE ALTURA DOS BLOCOS - 1ª, 2ª e 3ª medições

Blocos	1 ano		2,2 anos		4,1 anos	
	Média		Média		Média	
BDR	1,83	a	3,79	a	6,83	a
ADR	2,10	a	4,49	a	7,73	b
CC	2,72	a b	5,98	b	9,15	c
BS	3,23	b	6,56	b c	9,32	c
AT	4,25	c	7,08	c	10,93	d

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

TABELA 25 - MÉDIA DE ALTURA DOS BLOCOS - 4ª, 5ª e 6ª medições

Blocos	5,1 anos		6,3 anos		7,6 anos	
	Média		Média		Média	
BDR	8,14	a	9,16	a	8,95	a
ADR	8,79	a	9,62	a	10,01	a
BS	10,08	b	10,83	b	-----	
CC	10,34	b	11,01	b	11,96	b
AT	12,44	c	-----		-----	

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

TABELA 26 - ALTURA DOMINANTE MÉDIA DOS BLOCOS

Blocos	4,1 anos		5,1 anos		6,3 anos		7,6 anos	
	Média		Média		Média		Média	
BDR	7,35	a	9,00	a	10,10	a	10,76	a
ADR	8,96	b	9,85	a	10,69	a b	12,02	a
BS	10,83	c	10,92	b	11,88	b c	-----	
CC	10,56	c	11,05	b	12,08	c	14,05	b
AT	12,60	d	13,66	c	-----		-----	

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de significância.

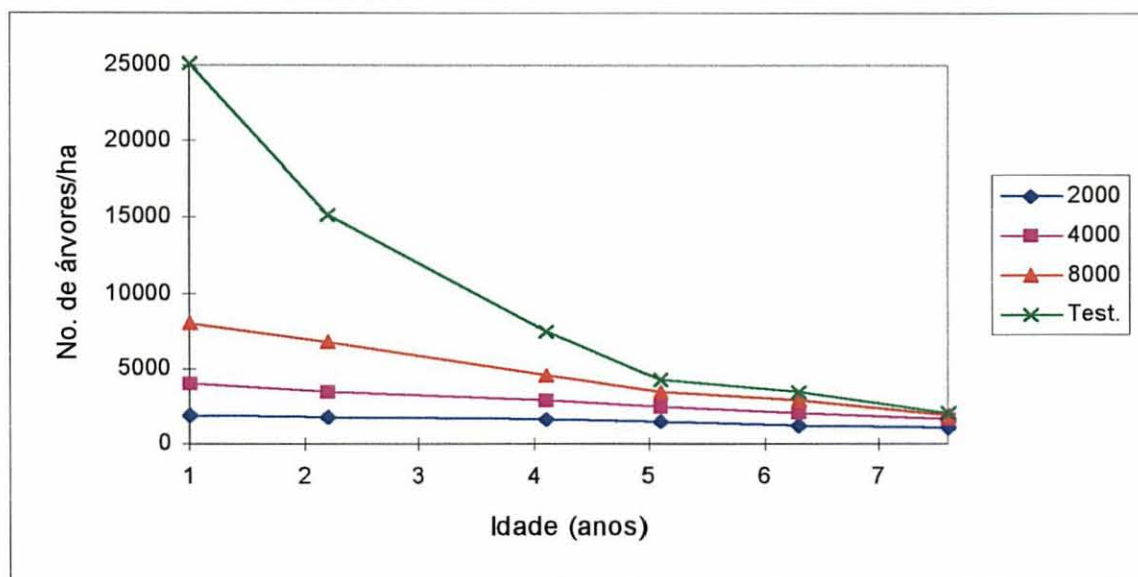
Mais ainda para essas variáveis do que para DAP, v e g, o agrupamento dos blocos em classes de sítio é evidente, principalmente nas últimas medições.

4.1.3 MORTALIDADE

4.1.3.1 Mortalidade em Função da Densidade Inicial

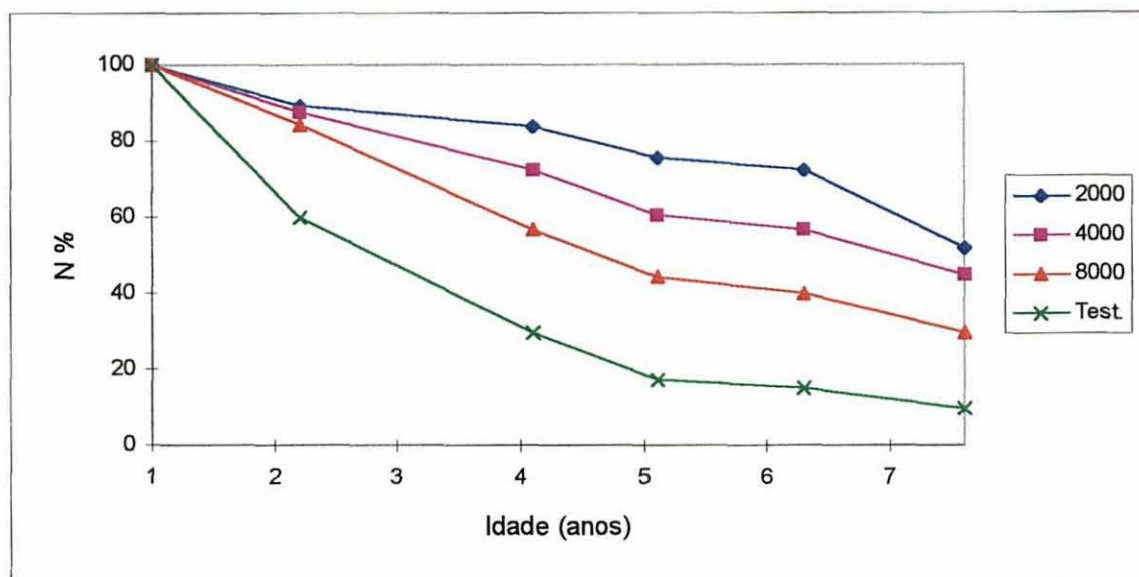
Antes que as demais variáveis (G e V/ha) possam ser analisadas, um estudo da evolução do número de árvores/ha dessas parcelas faz-se necessário. A figura 25 mostra essa evolução no tempo e em função dos tratamentos.

FIGURA 25 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E DA IDADE



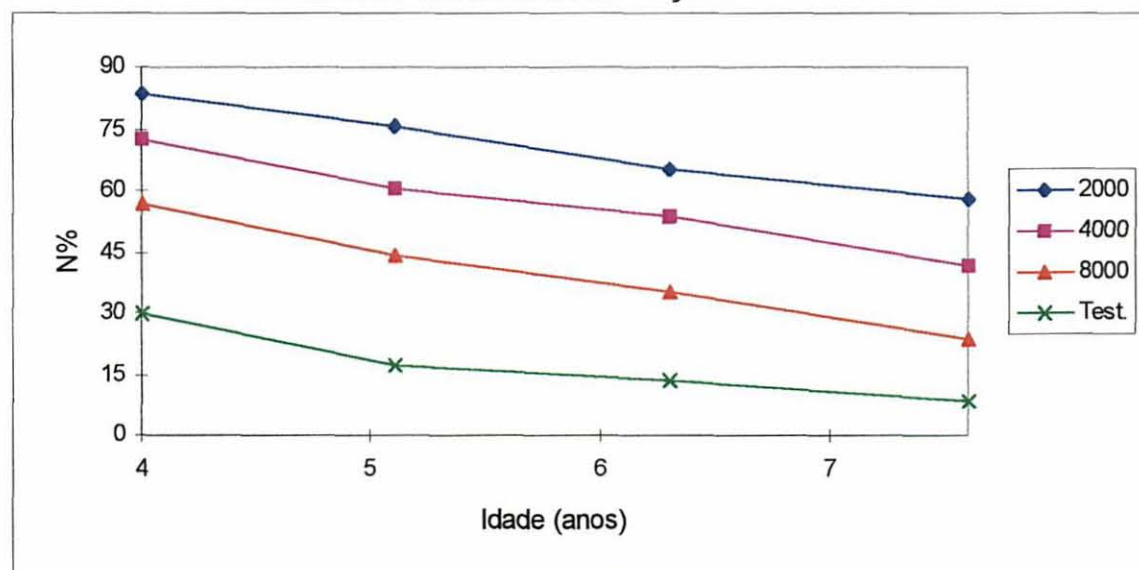
Quando se plota os dados de evolução do número de árvores/ha (N) por tratamento ao longo do tempo, esbarra-se num problema: como a mortalidade nas parcelas de maiores densidades iniciais é consideravelmente maior, devido à escala o N dos tratamentos de menores densidades iniciais parece não se alterar. Para corrigir esse efeito, utilizou-se um artifício: considerou-se o número inicial de árvores de todos os tratamentos como 100% e calculou-se as árvores remanescentes como uma porcentagem do número inicial. Assim, pôde-se comparar a mortalidade entre os tratamentos, com uma mesma base. A figura 26 mostra a evolução de N em termos percentuais.

FIGURA 26 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE (%)



Quando os dados de mortalidade foram usados na análise da evolução de G e V, foi importante entender melhor o que acontece a partir da terceira medição. Por esse motivo, a figura 27, que é uma parte extraída da figura 26, começa nesse ponto.

FIGURA 27 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE (%), A PARTIR DA TERCEIRA MEDIÇÃO



Através da figura 25, tem-se idéia da mortalidade absoluta, enquanto que através das figuras 26 e 27 pode-se comparar mais facilmente as taxas de mortalidade entre os diferentes tratamentos. Tanto absoluta como proporcionalmente, a mortalidade é tanto maior quanto maior for a densidade inicial da parcela. Os valores absolutos de N, plotados na figura 25, são melhor visualizados na tabela 27, que mostra ainda a taxa percentual de mortalidade por período entre as medições, ou seja, a percentagem de árvores que morreram no intervalo considerado com relação ao N inicial.

TABELA 27 - VALORES DE N (número de árvores/ha) E TAXAS PERCENTUAIS DE MORTALIDADE POR PERÍODO PARA AS DIFERENTES DENSIDADE INICIAIS E MEDIÇÕES

Medição	Idade (anos)	N (mortalidade %)			
		Tratamentos			
		2000/ha	4000/ha	8000/ha	Testemunha
1	1	2000	4000	7988	25151
2	2,2	1779 (11)	3502 (12)	6757 (15)	15139 (40)
3	4,1	1674 (5)	2899 (15)	4542 (28)	7489 (30)
4	5,1	1514 (8)	2418 (12)	3520 (13)	4345 (13)
5	6,3	1451 (3)	2262 (4)	3177 (4)	3854 (2)
6	7,6	1036 (21)	1795 (12)	2380 (10)	2462 (6)
Total:		48%	55%	70%	90%

As percentagens da tabela 27 (valores entre parênteses) mostram quando e quanto morreram das árvores das parcelas, e a sua soma indica a mortalidade média do tratamento em 7,6 anos. Assim, para a testemunha, por exemplo, 40% das 25.151 plantas iniciais morreram entre um e 2,2 anos de idade, 30% das 25.151 morreram entre 2,2 e 4,1 anos e assim por diante. Ao final das medições, 90% das árvores da testemunha já haviam morrido.

Nota-se que, confirmando o padrão exibido na figura 27, quanto maior a densidade inicial, maior a taxa de mortalidade até a idade de cinco anos. A partir daí, os tratamentos com menor densidade inicial passaram a experimentar maior mortalidade, em termos percentuais. Em termos absolutos, no entanto, a mortalidade continuou mais alta nas parcelas de maior densidade. É importante notar que a mortalidade entre a segunda e a terceira

medição aconteceu em um período de quase dois anos, e não num intervalo de um ano, como os demais.

Outra interpretação que se pode fazer, a partir dos gráficos e da tabela, é que, aos quatro anos de idade, as parcelas do tratamento 1, com densidade inicial de 2 mil plantas/ha, ainda possuem uma média de 84% (1674 árvores) de sobrevivência, enquanto que a testemunha já chegou aos 30% (média de 7489). Isso demonstra que, percentual e absolutamente, a maior mortalidade dos tratamentos mais densos acontece nos primeiros anos da vida do povoamento.

Esse resultado confirma CARPANEZZI et al. (1988), que afirmaram que em bracatingais tradicionais a mortalidade é mais acentuada nos primeiros cinco anos. Segundo o autor, a essa idade o povoamento tem de 2 a 4 mil árvores/ha. Com relação aos outros tratamentos, CARPANEZZI et al. asseguraram que “a mortalidade em idades jovens é característica intrínseca da espécie; ocorre até em povoamentos raleados, onde as plantas são selecionadas pelo vigor inicial e não há competição significativa entre elas”, exatamente como no caso dos tratamentos 1 e 2.

Percebe-se taxas mais altas de mortalidade nos primeiros anos de vida do povoamento, uma estabilização do número de árvores entre os cinco e os seis anos de idade e mais uma queda brusca nesse número, especialmente para as menores densidades, no período seguinte. Foram analisados os dados meteorológicos (precipitação e temperatura médias mensais) do período do experimento, a fim de tentar explicar a mortalidade. Esses dados, gentilmente cedidos pelo SIMEPAR, são provenientes da estação meteorológica do IAPAR em Piraquara – PR (cerca de 15 km dos talhões experimentais) e encontram-se no anexo 1.

Apenas duas séries temporais de dados chamaram atenção, em termos de precipitação e temperatura, durante a existência do experimento: 1985 foi um ano muito seco e 1989 mais frio que o normal. O ano de 1985 corresponde ao primeiro ano do experimento e segundo ano de vida do bracatingal e a falta

de chuva pode ter concorrido para as altas taxas iniciais de mortalidade. Já o fato de 1989 ter sido mais frio que a média não deve ter interferido na sobrevivência, uma vez que o povoamento já tinha cinco anos de idade no início do ano e, portanto, já menos vulnerável a temperaturas baixas e geadas.

Os dados meteorológicos não conseguem, portanto, explicar a evolução do número de árvores, sendo que o único ano particularmente seco aconteceu no início do experimento, onde esperava-se mortalidade acentuada de qualquer forma. As explicações para tal evolução da mortalidade são desconhecidas.

A forte mortalidade até os cinco anos de idade confirma os resultados obtidos por CAMPOS e colaboradores (1986). Trabalhando com amostras de dez bracatingais manejados tradicionalmente, em idades de um a dez anos, esses pesquisadores concluíram que a maior mortalidade, ou seja, o período no qual a competição entre plantas se define, situava-se entre quatro e cinco anos. A partir do quinto ano, os autores notaram uma estabilização na densidade dos bracatingais.

Observando-se a testemunha (uma vez que a comparação foi feita com bracatingais tradicionais) nas figuras 25 e 26, verifica-se que há uma tendência à estabilização do número de árvores/ha a partir do quinto ano. Embora no período entre os 6,3 e os 7,6 anos a mortalidade torne a aumentar levemente, a mesma tendência aparece no trabalho de CAMPOS et al. (1986). O presente trabalho, portanto, confirma, para a testemunha, a tendência de estabilização observada por CAMPOS et al. (1986), embora o período de maior mortalidade tenha sido entre o primeiro e o segundo e não entre o quarto e o quinto anos.

CARPANEZZI et al. (1988) afirmaram ainda que, de modo geral, entre os seis e oito anos de idade a densidade de bracatingais situa-se entre 1,4 e 3 mil árvores/ha, para DAP acima de 5 cm. A densidade média obtida nesse trabalho para as testemunhas foi de 3854 árvores/ha aos 6,3 anos e de 2462 árvores, aos 7,6 anos de idade. Considerando que 1.000 é o número médio de árvores/ha com DAP menores que 5 cm aos 6,3 anos de idade e que, para a

idade 7,6 esse número é de 267, os resultados obtidos ratificam as observações daqueles autores.

CARPANEZZI (1994) trabalhou com cinco tratamentos de bracatinga: SAT (sistema agroflorestal tradicional, densidade inicial da bracatinga de 8,5 mil plantas/ha, cultura de feijão e milho, sem adubação, duas capinas), SAM (sistema agroflorestal melhorado, idem ao anterior, mas com adubação das culturas agrícolas), SFT (sistema florestal tradicional, densidade total, sem culturas agrícolas, sem adubação nem capina), SFM1 (sistema florestal melhorado 1, 9,5 mil plantas/ha, sem adubação, duas capinas) e SFM2 (idem anterior, mas com 3,3 mil plantas deixadas/ha). Na contagem de N aos 29 meses (2,4 anos de idade), os resultados foram os apresentados na tabela 28.

TABELA 28 - DENSIDADE DA BRACATINGA APÓS O DESBASTE E AOS 29 MESES DE IDADE

Tratamentos	N inicial	N (2,4 anos)	Mortalidade %
SAT	8681	5486	36
SAM	8472	7430	12
SFT	30833	13194	57
SFM1	9653	7291	24
SFM2	3333	2916	12

Fonte: CARPANEZZI, 1994.

Os dados de mortalidade podem ser comparados com os da tabela 27. Os tratamentos SAT, SAM e SFM1 podem ser comparados ao tratamento 3, daquela tabela, aos 2,2 anos de idade. Os sistemas agroflorestal tradicional e o florestal melhorado 1 apresentaram taxas de mortalidade mais altas que a obtida nesse trabalho. Já o sistema agroflorestal melhorado teve mortalidade próxima à do tratamento 3, mesmo esse não tendo sido adubado. Quanto ao tratamento SFM1, a mortalidade deve ter sido maior devido à maior densidade inicial.

O sistema florestal tradicional teve uma mortalidade de 57% à idade de 2,4 anos, contra uma taxa de 40% da testemunha à idade de 2,2. Essa diferença deve ter sido ocasionada pelo fato de não terem sido feitas culturas

agrícolas no SFT. Assim, a ausência das capinas permite que uma competição muito forte com ervas invasoras se estabeleça, aumentando a taxa de mortalidade. O SFM2, quando comparado às densidades iniciais de 2 mil e 4 mil plantas/ha, mostra taxa de mortalidade equivalente.

4.1.3.2 Mortalidade em Função do Sítio

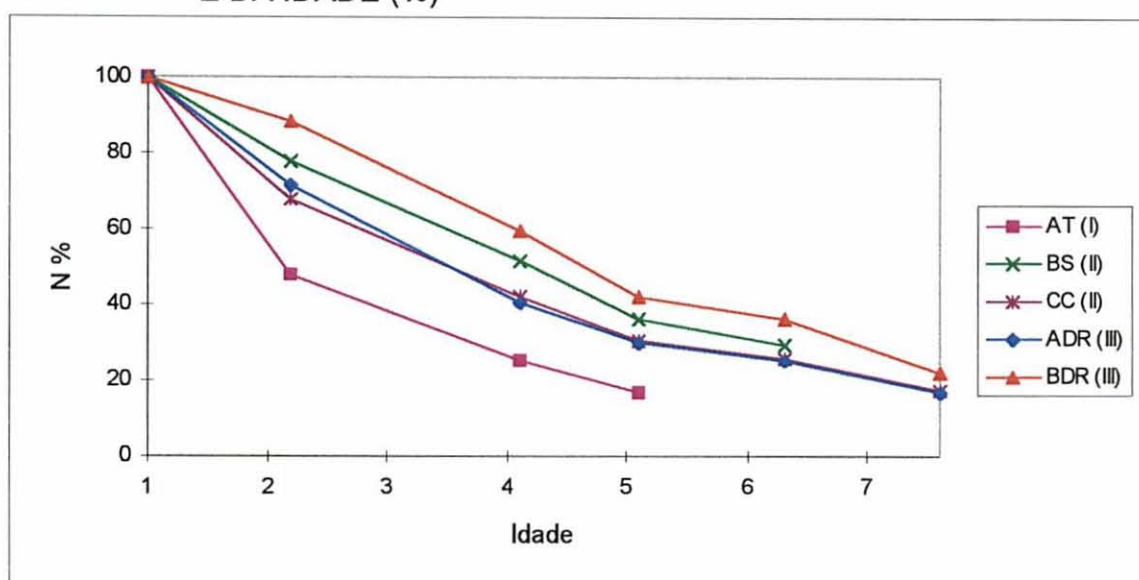
A variável N como função dos blocos (sítios) foi analisada para cada tratamento em separado. Para todos eles, a maior mortalidade foi constatada para o bloco AT (classe de sítio I), o que era esperado, pois, teoricamente, supõe-se que os melhores sítios geram taxas de mortalidade mais altas. Com relação aos demais blocos, no entanto, a tendência não foi tão clara: para o tratamento 1, os 2 blocos da classe de sítio II apresentaram menor mortalidade, seguidos pelos 2 da classe III; para o tratamento 2, a ordem começou igual, mas por volta dos 4 a 5 anos de idade os blocos BS e CC (II) passaram a apresentar maior mortalidade que os blocos ADR e BDR (III); no tratamento 3 observou-se o teoricamente esperado, ou seja, maior mortalidade para o bloco AT, seguido pelos blocos BS e CC (II) e taxa bem menor para os da classe III; para a testemunha, esse padrão não se confirma e os blocos se misturam, formando a seguinte ordem decrescente de taxa percentual de mortalidade: AT (I), ADR (III), CC (II), BS (II) e BDR (III).

Fez-se então uma média de N para todos os tratamentos, em função dos blocos. Para a confecção do gráfico, considerou-se o N na idade de 1 ano como 100% pois, uma vez que a testemunha começou com valores diferentes, dados absolutos não permitiriam a comparação entre os blocos. As percentagens seguintes foram calculadas sempre com relação ao N inicial. A figura 28 mostra a evolução do N percentual através do tempo, enquanto que a tabela 29 apresenta os valores absolutos e as mortalidades durante cada período de medição, com relação à densidade inicial.

Percebe-se no gráfico que, na média de todos os tratamentos, o bloco AT (classe I) foi o que sofreu maior mortalidade, seguido pelos blocos ADR (III)

e CC (II), que tiveram comportamento muito semelhante. Em ordem decrescente, segue-se o bloco BS (II) e o BDR (III), cuja taxa de sobrevivência foi a mais alta.

FIGURA 28 - NÚMERO DE ÁRVORES/HA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE (%)



Nota-se que a dependência entre o índice de sítio e a taxa mortalidade é fraca (coeficiente de correlação de 0,28), ao contrário dos resultados obtidos por MAESTRI (1992) para acácia negra, por MACHADO (1979) para *Pinus taeda* e por SANQUETTA (1990) para *P. elliottii*. Os dois primeiros autores encontraram uma relação inversa entre sobrevivência e qualidade de sítio (exceto nos primeiros anos de estabelecimento de *Pinus*), enquanto que o último descobriu uma relação direta. Os resultados desse trabalho e a falta de unanimidade comprovada pelos outros confirmam a observação de CLUTTER et al. (1983), de que muitas análises não conseguiram mostrar nenhum efeito do sítio sobre as taxas de mortalidade.

Além disso, realizou-se uma análise de variância, com os dados da tabela 29 e os resultados mostraram que o sítio não causou diferença significativa nas médias das mortalidade.

TABELA 29 - VALORES MÉDIOS DE N (número de árvores/ha) E TAXAS PERCENTUAIS DE MORTALIDADE POR PERÍODO PARA OS DIFERENTES BLOCOS E MEDIÇÕES

Med.	Idade aproximada	N (mortalidade %)				
		Blocos				
		AT	BS	CC	ADR	BDR
1	1	11962	6369	9608	10946	10039
2	2	5731 (52)	4977 (22)	6516 (32)	7854 (28)	8893 (11)
3	4	3046 (22)	3277 (27)	4054 (26)	4431 (31)	5946 (29)
4	5	2015 (9)	2323 (15)	2908 (12)	3285 (10)	4216 (17)
5	6,3		1882 (7)	2478 (4)	2746 (5)	3639 (6)
6	7,6			1670 (8)	1862 (8)	2223 (14)
Total:		83%	71%	82%	82%	77%

Embora nessa tabela também possa se notar a baixa taxa de mortalidade ocorrida entre os cinco e os 6,3 anos, a tendência é menos clara, uma vez que os tratamentos estão agrupados. Note-se que, após a medição 4, a taxa de mortalidade começava a decrescer para a testemunha e a aumentar para os tratamentos menos densos.

Combinando as informações da figura 28 e da tabela 29, é interessante observar que, embora ADR e CC tenham apresentado altas taxas relativas de mortalidade, esses blocos ainda tinham muitas árvores vivas na época da 3ª medição, onde se inicia a avaliação de G e V, devido ao N inicial da testemunha. O bloco AT, cuja testemunha se inicia com o maior N (33.846), tem o menor N médio aos 4 anos, devido à alta taxa de mortalidade. Esse bloco chega aos cinco anos de idade com a mesma porcentagem de árvores que os blocos CC e BDR atingem aos 7,6. Já BS, que apresentou elevado percentual de sobrevivência chegou a esse período com um número de árvores menor que o dos blocos CC, ADR e BDR, devido a baixo N inicial (testemunha inicial = 11477 plantas/ha). O bloco BDR, por sua vez, começou com muitas plantas/ha e sobreviveu bem, contando com o maior N nessa medição.

4.1.4 ÁREA BASAL (G) E VOLUME POR HECTARE (V)

4.1.4.1 Crescimento em Função da Densidade Inicial

A área basal e o volume/ha são variáveis que dependem do N e do DAP médio, e o V é influenciado ainda pela altura média e pela forma da árvore.

Uma vez que as equações para g e v já haviam sido determinadas, faltavam os valores de N para a estimativa dos valores das últimas medições. A tabela 30 apresenta os modelos escolhidos para cada combinação de tratamento e sítio e a tabela 31 mostra seus coeficientes e estatísticas. Os produtos dados pelas estimativas de N e de g ou v originaram os valores de G e V.

TABELA 30 - MODELOS UTILIZADOS PARA ESTIMAR N

Trat.	Sítio	Modelo
1	I	$N_2 = a + b \cdot I_1$
1	II	$N_2 = N_1 \cdot \exp [a \cdot (b^{I_2} - b^{I_1})]$
2	I	$N_2 = a + b \cdot I_2$
2	II	$N_2 = a + b \cdot I_1$
3	I	$N_2 = N_1 - N_1 \cdot \{[1 - \exp(-a \cdot (I_2 - I_1))]^b\}$
3	II	$N_2 = [N_1^a + b \cdot (I_2 - I_1)^c]^{(1/a)}$
4	I	$N_2 = a + b \cdot N_1$
4	II	$N_2 = a + b \cdot N_1$

Onde: N_2 = número de árvores/ha atual, na idade 2

N_1 = número de árvores/ha na medição anterior (idade 1)

I_2 = idade atual (anos)

I_1 = idade da medição anterior (anos)

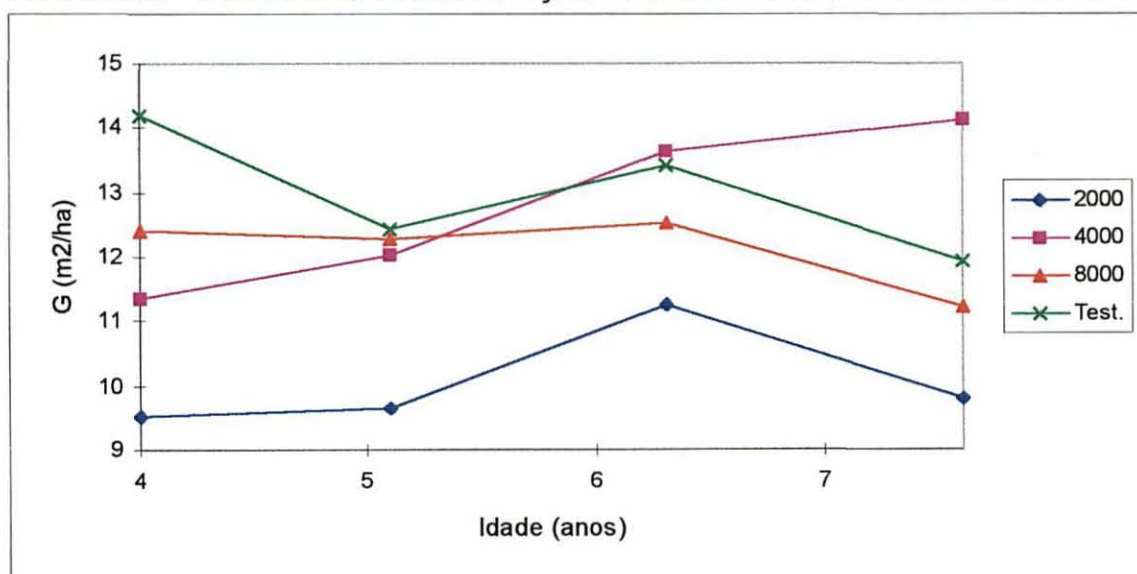
As figuras 29 e 30 mostram a evolução das variáveis G e V em função da densidade inicial. Devido às influências exercidas por diversas outras variáveis, seu comportamento não apresenta tendências tão claras quanto o dos demais parâmetros já analisados. Percebe-se, para o V, uma superioridade do tratamento 4 mil plantas/ha já a partir da segunda medição dessa variável

(medição 4 - aproximadamente 5 anos de idade). Já para a variável G, esse mesmo tratamento também supera os demais com o passar do tempo, apresentando o maior valor na última medição (aproximadamente 7,6 anos de idade).

TABELA 31 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DAS EQUAÇÕES PARA ESTIMATIVA DE VALORES DE N, POR DENSIDADE E SÍTIO

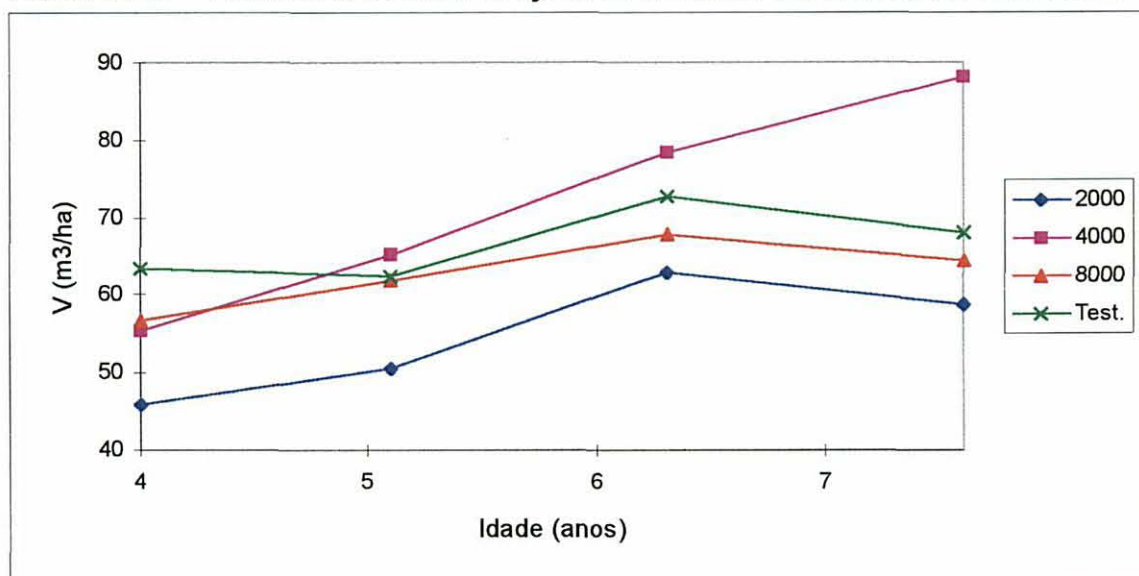
Trat.	Sítio	a	b	c	R ²	S _{xy} %
1	I	1729,33	-127,54		0,71	7,07
1	II	0,000134	3,05842		0,82	7,88
2	I	3653,046	-316,84		1,00	0,67
2	II	4112,80	-391,60		0,90	8,76
3	I	-0,5783	1,7810		0,99	6,10
3	II	0,4319	-2,5039	2,1800	0,97	11,24
4	I	842,63	0,3330		1,00	4,27
4	II	567,47	0,5313		0,98	9,39

FIGURA 29 - ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE



Para se compreender esses resultados, necessita-se analisar a evolução de todas as variáveis que os influenciaram: DAP (ou ainda g ou dg), altura média (figuras 9 e 18) e mortalidade (figuras 25, 26 e 27 e tabela 27) em função dos tratamentos.

FIGURA 30 - VOLUME/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E DA IDADE



Analisando os gráficos de evolução da densidade e do DAP médio, pode-se entender a evolução da área basal. Aos 4 anos de idade, G é menor para menores números de árvores/ha, o que é compreensível, e principalmente considerando-se que N varia muito: entre 7489 (testemunha) e 1674 (tratamento 1). Assim, apesar dos tratamentos com densidades maiores terem DAPs médios menores, o grande número de árvores compensa essa diferença.

No ano seguinte, a ordem dos tratamentos em magnitude da G continua a mesma, mas a tendência durante o intervalo entre as medições muda: o valor da testemunha cai consideravelmente, os tratamentos 8 mil e 2 mil permanecem mais ou menos estáveis, enquanto que o tratamento 4 mil aumenta. Os tratamentos 2, 3 e 4 (respectivamente, 4 mil, 8 mil plantas/ha e testemunha) convergem, apresentando valores de G muito próximos na idade aproximada de 5 anos.

Conforme se pode observar nas figuras 25 e 27 e nos dados da tabela 27, durante o período entre as medições 3 e 4, o N da testemunha caiu em 13%. Essa taxa também foi de 13% para o tratamento 3, 12% para o 2 e de 8% para o tratamento 1. Os DAPs médios de todos os tratamentos aumentaram no período analisado. Com base nessas informações, pode-se concluir que o G da testemunha caiu devido à alta mortalidade e que o dos tratamentos 1 e 3 (2 mil

e 8 mil plantas/ha) se manteve constante porque a mortalidade foi compensada pelo crescimento das árvores remanescentes.

Quanto ao tratamento 2 (4 mil plantas/ha), quando comparado aos tratamentos 3 e 4 pode-se compreender o crescimento em função do maior DAP. Quando comparado ao tratamento 1, embora sua mortalidade tenha sido mais alta, o crescimento do DAP foi mais acentuado do que para o 1 (0,8 cm de IPA daquele contra 0,5 desse último). Esse crescimento, aliado ao maior número absoluto de árvores/ha, explica o aumento da área basal média dessa densidade. Convém salientar que quando se fala em DAP, está se falando de médias. Por isso, crescimento não significa necessariamente crescimento físico, mas pode ser também um aumento da média por mortalidade de árvores menores. O mais provável é que se trate de uma combinação das duas causas.

O período seguinte caracterizou-se por uma baixa mortalidade em todos os tratamentos. Dessa forma, o G aumentou em todos eles, principalmente no 1, que, embora tenha tido o incremento corrente mais baixo em termos de DAP médio entre todos os tratamentos, também teve mortalidade muito baixa (63 árvores apenas, contra 491 árvores, que representam os 2% de mortalidade da testemunha). Na época da medição (aproximadamente 6,3 anos de idade), o tratamento 2 (4 mil plantas/ha) ultrapassa o tratamento 3 (8 mil), sendo superado apenas pela testemunha.

Já o último período de medição voltou a apresentar taxas de mortalidade mais elevadas. Isso causou a queda do valor de G para os tratamentos 1, 3 e testemunha. O tratamento 2 (4 mil plantas/ha), que apresentou o maior incremento de DAP médio (IPA de 1,05 cm/ano) e cuja mortalidade absoluta foi de apenas 467 árvores, resultou no único tratamento cuja área basal aumentou no espaço de tempo analisado, ultrapassando todos os demais. O tratamento 1, embora tenha perdido somente 415 árvores, teve um incremento baixo (0,9 cm/ano), enquanto que o tratamento 4 teve um IPA quase tão grande quanto o do tratamento 2, mas teve uma mortalidade absoluta de 1392 árvores. O tratamento 3 teve incremento e mortalidades intermediárias, quando comparados aos demais tratamentos.

Para a variável volume/ha, a análise feita para a área basal pode ser aproveitada. O comportamento de V foi praticamente o mesmo de G, com a diferença que o tratamento 2 ultrapassou os demais logo aos 5 anos. Isso é perfeitamente compreensível, porque o V sofre também a influência da altura média, além da do DAP e N. Conforme pode ser conferido na figura 18, a altura média do tratamento 2 (4 mil plantas) excedeu as demais justamente nessa idade.

Em resumo, aos 7,6 anos de idade a produção volumétrica é diretamente proporcional à densidade inicial (testemunha > 8 mil plantas/ha > 2 mil plantas/ha), com exceção do tratamento 2 (4 mil plantas/ha), que teve crescimento consideravelmente maior.

BAGGIO, GRAÇA e OLIVEIRA (1992) também encontraram essa relação de proporcionalidade direta, enquanto que LAURENT et al. (1990) encontraram volumes maiores para povoamentos raleados aos 14 e 24 meses de idade do que para testemunhas.

Quanto ao incremento, o IMA de ambas as variáveis teve seu valor máximo aos 4,1 anos de idade (ou antes), e a partir daí o valor passou a cair. Com relação aos tratamentos, o IMA comportou-se de forma oposta às demais variáveis: o valor foi diretamente proporcional à densidade inicial. A exceção foi o tratamento 2, cujo IMA foi maior do que o de todos os demais. O IPA não mostrou nenhuma tendência, mas o do tratamento 2 também foi sempre superior.

4.1.4.2 Crescimento em Função do Sítio

Os blocos (sítios) parecem exercer pouca influência sobre a área basal, mas demonstram algum efeito sobre o volume. Essa diferença é devida ao fato que o volume/ha é dependente também da altura, que é fortemente afetada

pelo sítio. As variáveis G e V como função dos blocos estão representadas nas figuras 31 e 32.

FIGURA 31 - ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE

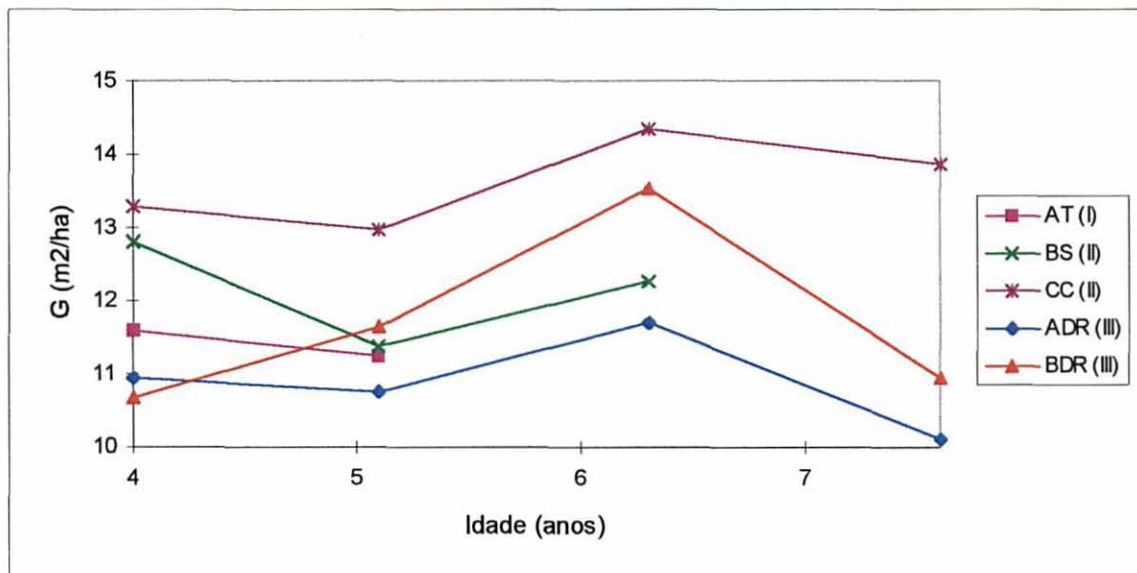
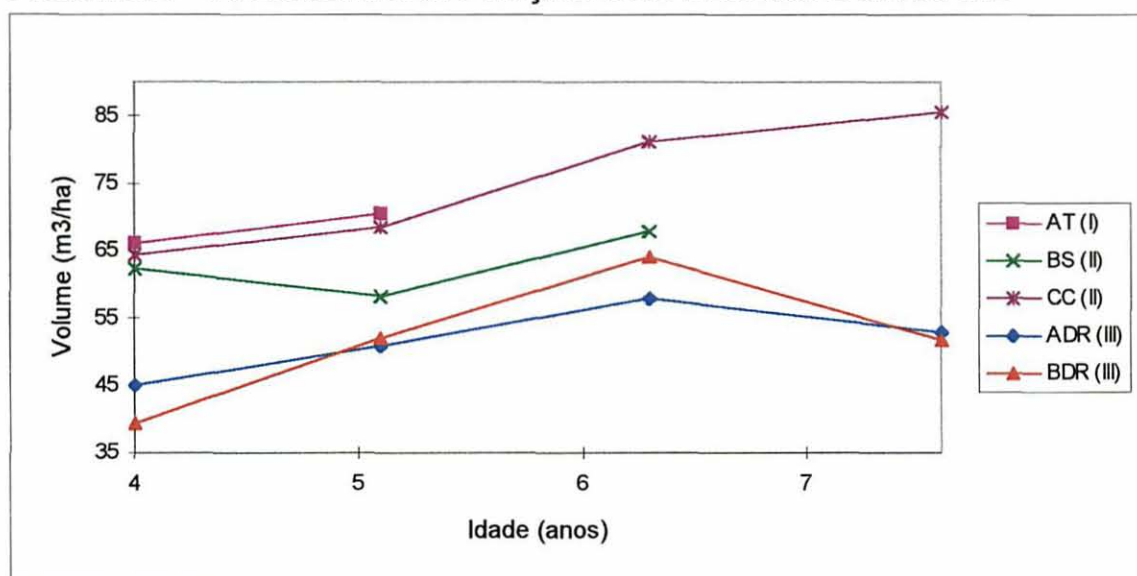


FIGURA 32 - VOLUME/HA EM FUNÇÃO DOS BLOCOS E DA IDADE



Mais uma vez, para compreender o padrão demonstrado nos gráficos 31 e 32, é necessária uma análise das variáveis das quais G e V são funções: área transversal ou volume individual, respectivamente, e N. As duas primeiras (g e v) têm suas evoluções no tempo em função dos blocos representadas nas

figuras 14 e 13, respectivamente. A figura 28 e a tabela 29 mostram a evolução do número de árvores/ha, em função dos blocos.

Para a área basal, analisando-se o gráfico de área transversal média, percebe-se que, à idade de 4 anos, a diferença entre os valores dos 3 primeiros blocos é pequena: 0,0045 para AT, 0,0041 para BS e 0,0039 para CC. Assim, o maior número de árvores do bloco CC, seguido de BS e AT, explica a ordem de G, nessa idade, para esses blocos. Para os blocos ADR e BDR os valores de g são de 0,0032 e 0,0027, respectivamente. O N consideravelmente mais alto de BDR permite que seus valores de G sejam quase iguais, embora ainda menores que os dos blocos das classes I e II.

Durante o período seguinte, a alta mortalidade do bloco AT não compensa seu crescimento, e sua área basal média cai. Os valores de G para os blocos CC e BS também diminuem, embora essa queda seja mais suave para CC, cujo g médio aumenta numa proporção maior que o de BS e cujo N ainda é consideravelmente maior, apesar da taxa de mortalidade mais alta. A área basal do bloco ADR continua mais ou menos constante, com o crescimento compensando a mortalidade e a do bloco BDR aumenta, devido ao grande número de árvores e à mais alta taxa de crescimento entre todos os blocos (30%, passando de 0,002747 para 0,003575). Esse último bloco ultrapassa AT e BS nessa medição.

O período seguinte se caracteriza pelas baixas taxas de mortalidade de maneira geral, causando um aumento na área basal de todos os blocos. Já no último período de medição, a mortalidade volta a aumentar, gerando uma diminuição nos valores de G, atenuada no bloco CC pelo crescimento de 39% na área transversal média (IPA de $0,001814 \text{ m}^2 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$).

A variável volume/ha é afetada pela mortalidade da mesma maneira. A diferença é causada pela evolução do volume individual, representado na figura 32. Primeiramente, em volume médio o bloco AT é muito superior aos demais. Assim, mesmo tendo um número de árvores bem menor, o V desse bloco é maior que o dos outros. Além disso, a distância entre os blocos das diferentes

classes de sítio é maior para v do que para g. Por isso, o volume/ha do bloco BDR, apesar dos altos valores de N, não supera o do bloco BS. A última diferença entre as duas variáveis é que a queda nos valores de V no último período não é tão acentuada quanto a dos valores de G (inclusive para o bloco CC ocorre um leve aumento).

4.1.4.3 Análise de Variância Para Efeitos de Densidade e Sítio

Os resultados da análise de variância para as variáveis área basal e volume/ha encontram-se no quadros 6 e 7.

QUADRO 6 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA ÁREA BASAL

MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	57,22641	19,07547	10,33498	0,0012**
Sítio	4	20,79211	5,19803	2,81626	0,0735
Erro	12	22,14863	1,84572		
TOTAL	19	100,16715			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	25,63902	8,54634	6,42860	0,0076**
Sítio	4	10,90050	2,72512	2,04985	0,1510
Erro	12	15,95310	1,32942		
TOTAL	19	52,49261			
MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	19,89855	6,63285	4,38470	0,0367*
Sítio	3	17,23688	5,74563	3,79820	0,0520
Erro	9	13,61452	1,51272		
TOTAL	15	50,74995			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	36,18405	12,06135	2,05227	0,2081
Sítio	2	30,83201	15,41601	2,62307	0,1519
Erro	6	35,26248	5,87708		
TOTAL	11	102,27854			

QUADRO 7 - ANÁLISES DE VARIÂNCIA PARA VOLUME/HA

MEDIÇÃO 3					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	781,44516	260,48172	6,68670	0,0066**
Sítio	4	2452,59106	613,14777	15,73982	0,0001**
Erro	12	467,46249	38,95521		
TOTAL	19	3701,49872			
MEDIÇÃO 4					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	629,48415	209,82805	4,11363	0,0320*
Sítio	4	1335,59009	333,89752	6,54598	0,0049**
Erro	12	612,09631	51,00803		
TOTAL	19	2577,17055			
MEDIÇÃO 5					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	509,49902	169,83301	2,64423	0,1129
Sítio	3	1169,96750	389,98917	6,07198	0,0152*
Erro	9	578,04916	64,22768		
TOTAL	15	2257,51568			
MEDIÇÃO 6					
FV	GL	SQ	QM	F	Probabilidade
Densidade	3	1863,29297	621,09766	1,97266	0,2196
Sítio	2	2937,80518	1468,90259	4,66535	0,0599
Erro	6	1889,12109	314,85352		
TOTAL	11	6690,21924			

Convém ter em mente a forma de cálculo utilizada para volume: uma mesma equação para todos os tratamentos e sítios. Na prática sabe-se que a densidade do povoamento e o sítio influenciam a forma da árvore. Assim, as densidades mais baixas e os sítios mais pobres tendem a apresentar árvores mais cônicas. Portanto, os resultados apresentados aqui, embora dêem uma idéia dos volumes por unidade de área, não são expressivamente acurados. Além disso, apesar do volume do tratamento 2 ser superior aos demais na última medição, a diferença real entre esse e os demais tratamentos pode ser diferente do que a obtida com essa forma de cálculo.

Para ambas as variáveis os tratamentos mostram diferença significativa nas duas primeiras medições (aproximadamente 4 e 5 anos de idade). Já nas

duas medições seguintes, as densidades não afetaram significativamente o G e o V.

A princípio, poderia se concluir que, sendo o objetivo de manejo do povoamento de bracatinga a maximização do volume por unidade de área e a rotação entre 6 e 7,5 anos de idade, a densidade inicial não é relevante. Convém, no entanto, salientar que mesmo para lenha existem diâmetros e comprimentos mínimos requeridos para as toras, que não estão sendo considerados aqui, uma vez que não se dispõe de dados para ajuste de equações de forma.

Conforme anteriormente discutido, o volume/ha e a área basal são uma combinação das variáveis volume individual ou área transversal média, respectivamente, e número de árvores por hectare. O fato de não se observar diferença significativa entre os diferentes tratamentos significa que as duas variáveis independentes citadas estão se compensando.

Assim, o fato de dois povoamentos possuírem o mesmo volume/ha, não significa que a quantidade de madeira comerciável seja a mesma. Para ilustrar esse efeito, a tabela 32 apresenta o número de árvores por classe de diâmetro nas parcelas, para cada tratamento, na época da última medição (aproximadamente 7,6 anos). Os dados da tabela são as freqüências absolutas e relativas para cada densidade inicial.

TABELA 32 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA ABSOLUTA (F.A.) E RELATIVA (F.R.) PARA DIFERENTES DENSIDADES INICIAIS, AOS 7,6 ANOS DE IDADE

Classes de DAP (cm)	Tratamentos							
	2000		4000		8000		Testemunha	
	F. A.	F. R.	F. A.	F. R.	F. A.	F. R.	F. A.	F. R.
≤ 4	0	0,0	2	1,1	4	1,7	16	6,7
4 - 8	11	10,9	47	26,9	146	62,9	145	60,4
8 - 12	72	71,3	90	51,4	74	31,9	68	28,3
12 - 16	17	16,8	35	20,0	7	3,0	11	4,6
≥ 16	1	1,0	1	0,6	1	0,4	0	0,0
Total	101	100%	175	100%	232	100%	240	100%

Os dados da tabela 32 provam que, apesar das variáveis G e V não apresentarem diferença significativa causada pelos tratamentos, as estruturas dos povoamentos são bem diferentes. À idade aproximada de 7,6 anos, as parcelas submetidas ao tratamento 1 possuem 71% de suas árvores com DAP entre 8 e 12 cm e 17% entre 12 e 16 e as sujeitas ao tratamento 2 têm 51% e 20% nas mesmas classes, respectivamente. Os demais tratamentos, no entanto, mostram uma distribuição bem diferente, com a maior parte das árvores na classe de DAP entre 4 e 8 cm. Os tratamentos 3 e 4 têm, respectivamente, 96,5 e 95,4% das árvores com diâmetro menor que 12 cm.

Essas considerações devem servir para que o resultado da ANOVA, que não indica diferença entre os tratamentos e os sítios nas idades mais avançadas, seja visto com cautela. Seria precipitado afirmar que diferentes densidades iniciais ou qualidades de sítio não afetam a produção total do bracatingal, sem examinar outros fatores que podem influenciar o uso e a comercialização da madeira.

Já os blocos geraram diferenças significativas para a variável V em todas as medições, com exceção da última, que coincide com a ausência de dados de um bloco da classe de sítio I e outro da classe II. Esse efeito já havia sido notado no gráfico de evolução dessa variável em função dos blocos. Para a área basal, somente na medição 5 a diferença foi estatisticamente significativa.

Apesar da ausência da classe de sítio I, elaborou-se uma distribuição de frequências, como a tabela 32, para as classes de sítio II e III, à idade de 7,6 anos. A tabela 33 mostra esses dados.

Embora a classe III tivesse mais árvores (porque existiam duas parcelas na última medição, contra uma da classe II), mais de 70% das árvores da classe de sítio II tinham entre 8 e 16 cm, enquanto que mais da metade das pertencentes à classe III tinham entre 4 e 8 cm. Além disso, a classe III não tinha nenhuma árvore com DAP maior que 16 cm, enquanto que elas existiam

na classe de sítio II. Se existissem parcelas na classe I, a diferença certamente ficaria ainda mais evidente.

TABELA 33 - DISTRIBUIÇÃO DE FREQUÊNCIA DIAMÉTRICA ABSOLUTA (F.A.) E RELATIVA (F.R.) PARA DIFERENTES CLASSES DE SÍTIO, AOS 7,6 ANOS DE IDADE

Classes de DAP (cm)	Classes de sítio			
	II		III	
	F. A.	F. R.	F. A.	F. R.
≤ 4	3	1,4	19	3,6
4 - 8	57	26,1	292	55,0
8 - 12	107	49,1	197	37,1
12 - 16	47	21,6	23	4,3
≥ 16	4	1,8	0	0,0
Total	218	100%	531	100%

4.1.4.4 Efeito da Densidade Inicial

As tendências da área basal e do volume/ha em função da densidade inicial do povoamento está representada nas figuras 33 e 34. Em todos os casos, percebe-se um aumento das variáveis para o tratamento 2 (4 mil plantas/ha) em relação ao 1 (2 mil).

FIGURA 33 - ÁREA BASAL EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL

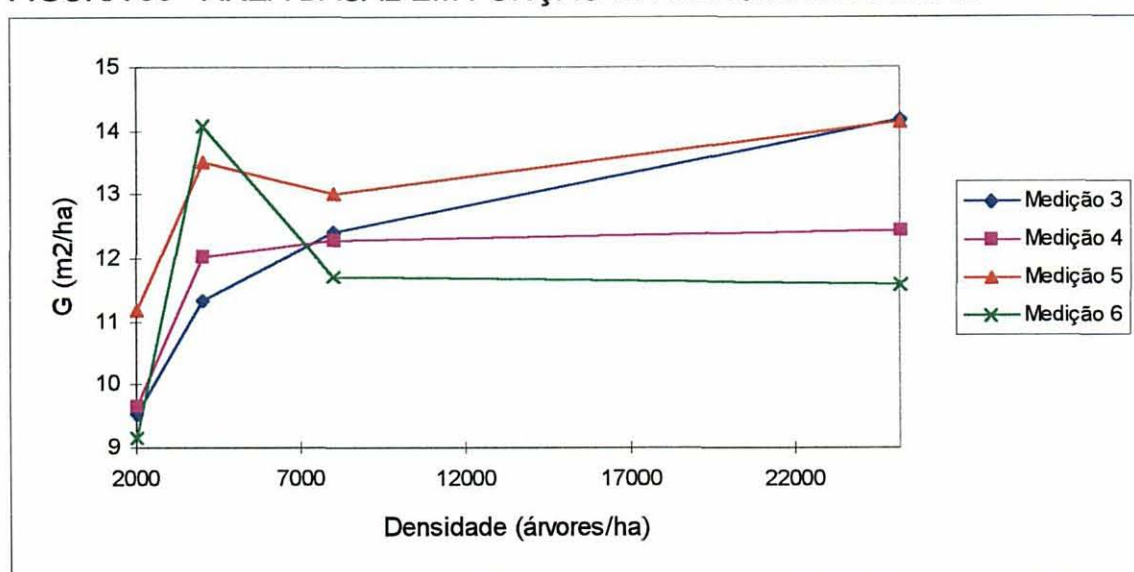
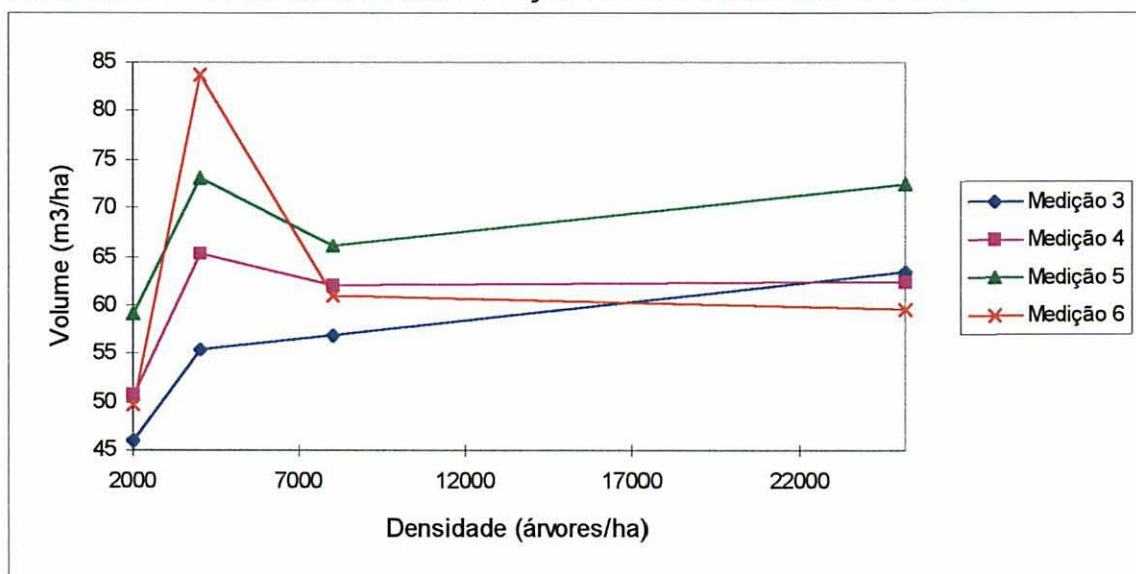


FIGURA 34 - VOLUME/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL



Ao contrário das demais variáveis, a grande variação de valores dentro de cada tratamento impossibilita a modelagem de V e G em função da densidade inicial. A análise de tendências, assim, só pode ser feita com base nos gráficos acima. De modo geral, espera-se, a partir da análise dos gráficos, maiores área basal e volume/ha para a densidade inicial de 4 mil plantas/ha, menores para 2 mil e valores parecidos para as testemunhas e parcelas com densidade inicial de 8 mil plantas/ha, nas idades de seis a sete anos e meio.

4.1.4.5 Efeito do Sítio

Para a variável área basal, os resultados da análise de variância mostraram não haver diferenças entre os blocos. Já para a variável volume/ha, a análise de variância apontou diferenças devidas aos blocos nas medições 3, 4 e 5. Fez-se a interpolação dos dados da mesma forma e os resultados dos testes de Tukey encontram-se na tabela 34.

Os resultados do teste de Tukey comprovam o efeito dos blocos sobre o volume/ha, que pode ser observado na figura 34.

TABELA 34 - MÉDIA DE VOLUME/HA DOS BLOCOS

Blocos	4 anos		5 anos		6,3 anos	
	Média		Média		Média	
ADR	44,04	a	47,83	a	57,91	a
BDR	37,14	a	48,96	a	64,07	a b
BS	62,26	b	58,36	a b	68,60	a b
CC	63,99	b	68,64	b	81,25	b
AT	66,68	b	71,56	b	-----	

Letras iguais indicam grupos homogêneos pelo teste de Tukey ao nível de 5% de

4.2 MODELAGEM DA EVOLUÇÃO DAS VARIÁVEIS

4.2.1 DIÂMETRO MÉDIO (DAP)

Os valores de DAP foram plotados em relação à idade para cada combinação de densidade e sítio das parcelas permanentes e ainda para as parcelas temporárias. As tendências de evolução dessa variável estão representadas graficamente nas figuras 35 a 45. Até a última medição (7 anos e meio, no caso das parcelas permanentes e até 18 anos para o sítio II das parcelas temporárias) não se percebe propensão à estabilização para nenhum dos tratamentos e/ou sítios.

FIGURA 35 - DAP X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

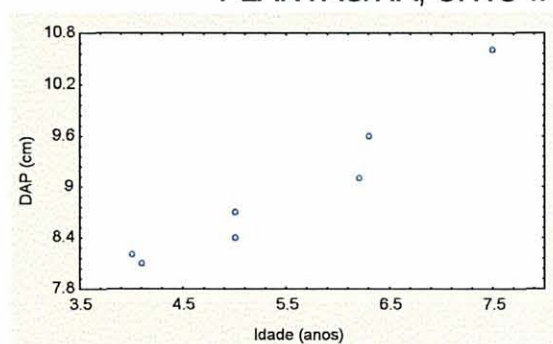


FIGURA 36 - DAP X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

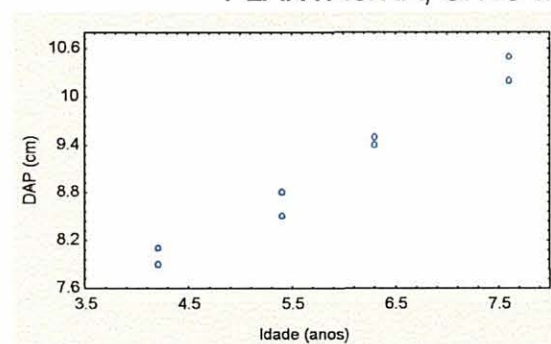


FIGURA 37 - DAP X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

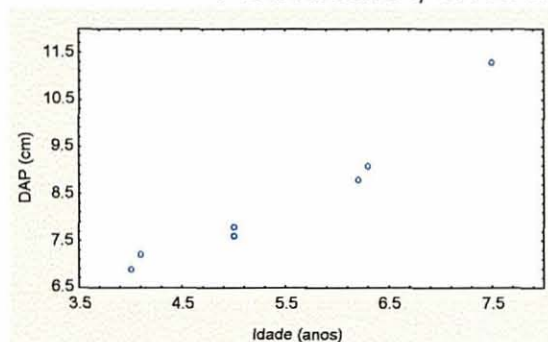


FIGURA 38 - DAP X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

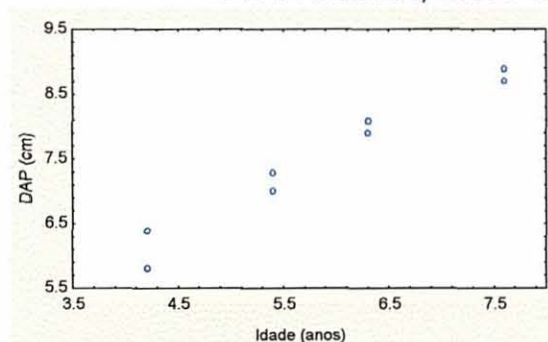


FIGURA 39 - DAP X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

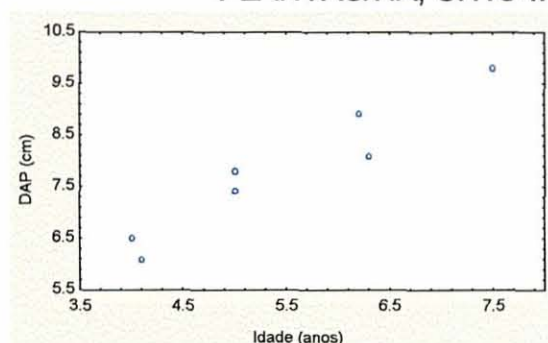


FIGURA 40 - DAP X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

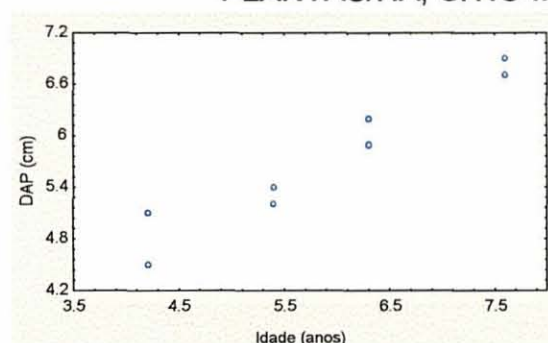


FIGURA 41 - DAP X IDADE, TES-TEMUNHA, SÍTIO II

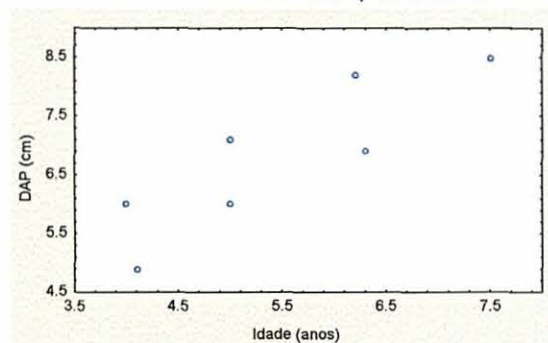


FIGURA 42 - DAP X IDADE, TES-TEMUNHA, SÍTIO III

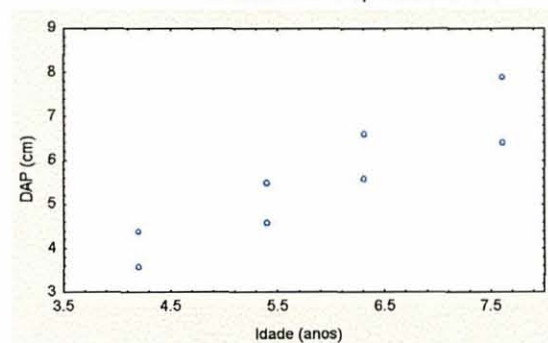


FIGURA 43 - DAP X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I

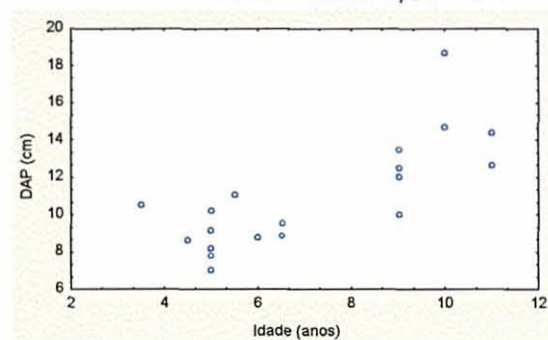


FIGURA 44 - DAP X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II

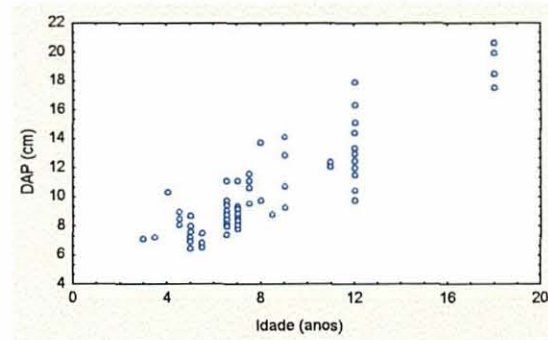
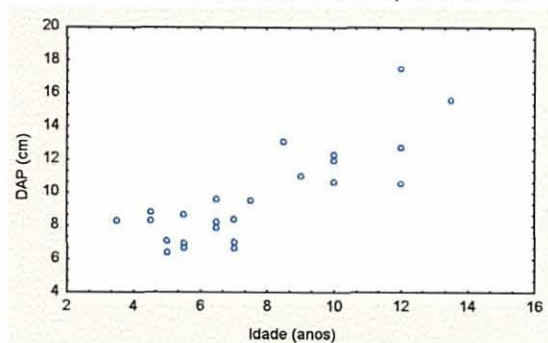


FIGURA 45 - DAP X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO III



5.2.1.1 Parcelas Permanentes

O modelo biológico de Chapman-Richards foi utilizado em sua forma completa: $W = A.[1 - b.e^{-k.t}]^{1/(1-m)}$, onde **A** é o valor assintótico da variável **W** (DAP, no caso), **b**, **k** e **m** são coeficientes, **e** é a base do logaritmo neperiano e **t** é o tempo em anos (idade).

Os melhores ajustes, para cada combinação de tratamento e sítio das parcelas permanentes, têm seus resultados apresentados (coeficientes, R^2 , erro padrão da estimativa em porcentagem e número de observações N) na tabela 35.

TABELA 35 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP - PARCELAS PERMANENTES

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio							
	2000		4000		8000		Testemunha	
	II	III	II	III	II	III	II	III
A	31,60	27,068	31,055	25,73	30,82	25,25	29,71	25,58
b	0,2986	0,4737	0,6079	0,8128	0,8466	0,4273	0,8865	0,9463
k	0,05281	0,05781	0,08036	0,05467	0,05339	0,05820	0,04639	0,06011
m	0,7989	0,6219	0,6193	0,2756	0,2694	0,7561	0,2077	0,2815
R^2	0,93	0,97	0,94	0,96	0,92	0,93	0,76	0,82
$R^2_{ajust.}$	0,86	0,95	0,88	0,93	0,84	0,88	0,52	0,69
$S_{xy}\%$	3,6	2,2	6,2	3,8	6,5	5,0	13,0	13,9
N	7	8	7	8	7	8	7	8

Nota-se que o número de observações utilizadas para o ajuste das equações (para diâmetro e as demais variáveis dependentes dessa) é baixo, quando são agrupadas por sítio e tratamento. Sete ou oito observações para o ajuste de um modelo com quatro coeficientes resulta em apenas três ou quatro graus de liberdade para o resíduo. Essas equações, portanto, devem ser usadas com muita cautela na estimativa de valores de produção.

O ajuste das parcelas testemunhas apresentam valores menores para R^2 e maiores para erros padrão da estimativa. Esse resultado era previsto, uma vez que a uniformidade dessas parcelas entre si é menor. Apesar do uso do modelo de Chapman-Richards, ainda não se aconselha o uso dessas equações para se estimar DAPs médios além dessa idade máxima. Seria interessante que, após esse trabalho inicial, dados de povoamentos mais velhos e com as mesmas densidades iniciais fossem sendo incluídos para validar e aperfeiçoar essas equações.

Os coeficientes **A** estimados, que correspondem aos valores assintóticos de DAP médio, variaram entre 31,6 e 25,3. Calculou-se o coeficiente de correlação entre os valores de **A** e os índices de sítio e obteve-se o valor de 0,96, enquanto que a correlação entre **A** e as densidades iniciais correspondentes aos tratamentos ficou em -0,20. Os coeficientes de correlação entre esse coeficiente e os demais também foram calculados e os resultados considerados pouco significativos (valores absolutos sempre menores que 0,20).

Além disso, ajustou-se uma equação de **A** em função de densidade e sítios, cujos resultados são apresentados na tabela 36.

TABELA 36 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO PARÂMETRO **A EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES E SÍTIOS, PARA DAP**

$R^2 = 0,9968$		$R^2_{ajust.} = 0,9957$		$S_{xy} = 1,8681$
Variável	b_i	Erro padrão	t(6)	Probabilidade
Densidade	0,000030	0,000072	-0,41587	0,6920 ^{ns}
Sítio	2,399333	0,080063	29,96818	0,0000 ^{**}

Na tabela 36, apresenta-se a probabilidade de b_i ser significativo, ou seja, diferente de zero. Nota-se que para o coeficiente da variável tratamento aceita-se a hipótese da nulidade, ou seja, esse parâmetro estimado é estatisticamente igual a zero, e não contribui significativamente para a estimativa do valor assintótico. O coeficiente de sítio, no entanto, resultou altamente significativo, demonstrando a capacidade dessa variável de explicar o comportamento de **A**.

Assim, pôde-se concluir matematicamente que o coeficiente **A** é altamente influenciado pelo sítio, mas pouco afetado pelos tratamentos. Teoricamente essa conclusão já era esperada pela própria definição de sítio.

Essa teoria é corroborada ainda pelos resultados da análise de variância, na qual as probabilidades de ocorrerem diferenças no DAP médio causadas pelos tratamentos vão diminuindo com o passar do tempo. Isso significa que, com o aumento da idade, as médias de DAP tendem a se aproximar e, provavelmente, a se igualar no futuro, para mesmas classes de sítio. A favor dessa hipótese ainda colabora o fato que a mortalidade é maior nas maiores densidades, o que aumenta o diâmetro médio, ajudando-o a atingir o valor das parcelas menos densas.

Assim, ao menos teoricamente, espera-se que todas as parcelas da classe de sítio II possam atingir um DAP médio de 31,6 cm, assim como as pertencentes à classe III poderão chegar a 27,1 cm. Os valores de **A** serão fixados nesses níveis, o que tornará os resultados mais reais, além de diminuir o número de coeficientes do modelo.

Com relação aos demais coeficientes, pode-se notar que existe uma forte correlação entre eles, principalmente entre **b** e **m**. De fato, a correlação entre esses dois coeficientes foi calculada e obteve-se um valor de -0,97. Devido a essa interdependência entre os parâmetros calculados, é difícil compará-los. Por exemplo, quando se compara o valor de **m** para o sítio II, tratamentos 1 e 3, tem-se, respectivamente 0,80 e 0,27. A julgar por esses números, poderia se dizer que o segundo atingiu o ponto de inflexão mais cedo

que o primeiro, conclusão que seria inesperada. Quando se considera o valor de b , no entanto, percebe-se que esse é de 0,30 para o tratamento 2 e de 0,85 para o 3, ou seja, o valor de b está compensando o de m .

Para permitir o confronto entre m e k , parâmetros com significados biológicos de interpretação mais importante, o coeficiente b também foi fixado. Dessa forma, a variação de m passou a refletir apenas a localização relativa do ponto de inflexão na curva de crescimento.

Com base nas considerações acima, o modelo de Chapman-Richards foi novamente ajustado, com apenas dois coeficientes: m e k . Os valores assintóticos foram fixados por sítio e o coeficiente b foi retirado (fixado em 1). Os resultados dos melhores ajustes obtidos encontram-se na tabela 37.

TABELA 37 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP, COM ASSÍNTOTA E COEFICIENTE b FIXOS - PARCELAS PERMANENTES

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio							
	2000		4000		8000		Testemunha	
	II	III	II	III	II	III	II	III
A	31,6	27,1	31,6	27,1	31,6	27,1	31,6	27,1
k	0,009588	0,01795	0,04313	0,02780	0,03031	0,01612	0,02572	0,04996
m	-1,3739	-1,1239	-0,1846	-0,4827	-0,3526	-0,5544	-0,3301	0,1323
R ²	0,91	0,97	0,92	0,96	0,93	0,93	0,76	0,82
R ² _{ajust.}	0,87	0,96	0,88	0,94	0,90	0,90	0,64	0,75
S _{xy} %	3,3	2,1	5,5	3,0	4,9	4,3	10,0	11,3
N	7	8	7	8	7	8	7	8

Primeiramente, percebe-se que os valores de R² apresentaram pouca variação, enquanto que os erros padrões percentuais diminuíram e R²_{ajustado} aumentou, devido ao aumento do número de graus de liberdade do resíduo. Outro resultado que chama a atenção são os valores de m , que passaram a ser negativos.

As equações de ajuste livre (tabela 35) e as de assíntota fixa (tabela 37) foram comparadas através do teste de F parcial. Para nenhuma das combinações de tratamento e sítio o teste detectou diferença significativa ao nível de 1%, conforme pode ser conferido na tabela 38. Isso significa que as equações com assíntota fixa poderão ser utilizadas sem prejuízo estatístico. Nas combinações marcadas com asterisco acontece até lucro, ou seja, a soma dos quadrados do modelo reduzido é menor que a do modelo original.

TABELA 38 - VALORES DO TESTE DE F-PARCIAL, PARA COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE AJUSTE LIVRE E COM ASSÍNTOTA FIXA, PARA DAP

Tratamento	Classe de sítio	F	Probabilidade
1	II	0,5868	0,6093
1	III	0,6572	0,5665
2	II	0,4241	0,6883
2	III	0,1629*	0,8550
3	II	0,0457*	0,9560
3	III	0,2230	0,8095
4	II	0,0144*	0,9857
4	III	0,0047*	0,9953

As equações cujos coeficientes e estatísticas estão apresentados na tabela 37 têm suas representações gráficas mostradas nas figuras 46 a 49.

O parâmetro k diz respeito ao espalhamento da curva ao longo do eixo do tempo, ou seja, à inclinação da curva. Quanto maior o seu valor, mais rapidamente o valor assintótico é atingido. Já o parâmetro m está relacionado à posição do ponto de inflexão na curva de produção. A expressão $m^{1/(1-m)}$ fornece a porcentagem do valor assintótico no qual se encontra o ponto da taxa de produção máxima.

Segundo MACHADO (1978), os demais parâmetros da função de Chapman-Richards não apresentam uma relação tão simples e forte com a qualidade de sítio quanto o A , mas o k geralmente decresce com o aumento do índice de sítio e o m difere para cada sítio e espécie. Esse autor, no entanto, não trabalhou com variáveis médias individuais, mas apenas por unidade de área.

Comparando-se k dentro dos tratamentos, percebe-se comportamentos diferentes: para o tratamento 1 (mostrado na figura 46), o valor desse parâmetro é menor para a classe de sítio II do que para a III. Para os tratamentos 2 e 3, os valores de k apresentaram comportamento contrário: maior para a classe de sítio melhor e vice-versa. De fato, quando se extrapola os gráficos das figuras 47 e 48, observa-se que o sítio II atinge o valor de 31,6 de DAP médio antes que o sítio III atinja 27,1.

O coeficiente de correlação entre os valores de k e os índices de sítio foi de -0,03. Isso indica que as estimativas de k , ou seja, a inclinação das curvas de crescimento, independe da classe de sítio, desde que a densidade inicial seja a mesma. Esse resultado contradiz as teorias do modelo e da relação entre a qualidade de sítio e o crescimento.

O coeficiente m apresentou um coeficiente de correlação de -0,06 com os índices de sítio. Esse valor também indica uma relação insignificante entre esse parâmetro e a qualidade do sítio, o que também contesta o que se esperava. Os valores negativos dificultaram a interpretação dos resultados. Acontece que o modelo não detecta um ponto de inflexão no intervalo de dados observados, e sim antes da idade zero. Apesar disso não ter sentido biológico, o modelo com esse parâmetro se ajusta muito melhor, quando comparado ao modelo do qual ele é removido. O único valor positivo foi obtido para a testemunha, sítio III. Ou seja, entre todas as combinações de tratamentos e sítios, essa foi a que atingiu o ponto de inflexão por último, o que faz sentido com as expectativas teóricas.

Nos gráficos, as curvas foram extrapoladas até os vinte anos de idade apenas para permitir melhor comparação entre os tratamentos e dar uma idéia do crescimento futuro. Essas extrapolações estão muito sujeitas a erros e as equações não devem, portanto, ser usadas na estimativa de produção para idades fora do domínio dos dados.

Através das figuras 46, 47, 48 e 49, percebe-se que, para o tratamento 1, não houve grande diferença entre as classes de sítio II e III. Com o aumento

da densidade inicial (4 mil e 8 mil/ha), a diferença entre os valores médios das classes II e III foi aumentando consideravelmente. No caso da testemunha, as diferentes classes de sítio se encontraram novamente mais próximas, sendo que, com a extrapolação do tempo, as duas classes de sítio se encontraram.

FIGURA 46 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, 2 MIL PLANTAS/HA, PARCELAS PERMANENTES

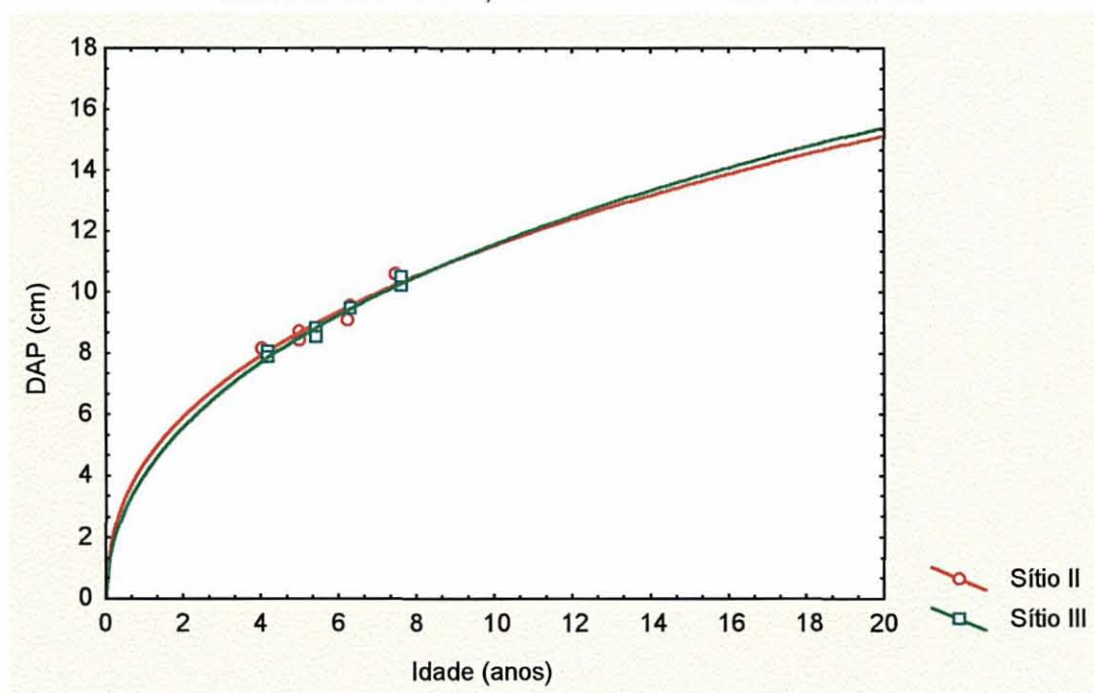


FIGURA 47 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, 4 MIL PLANTAS/HA, PARCELAS PERMANENTES

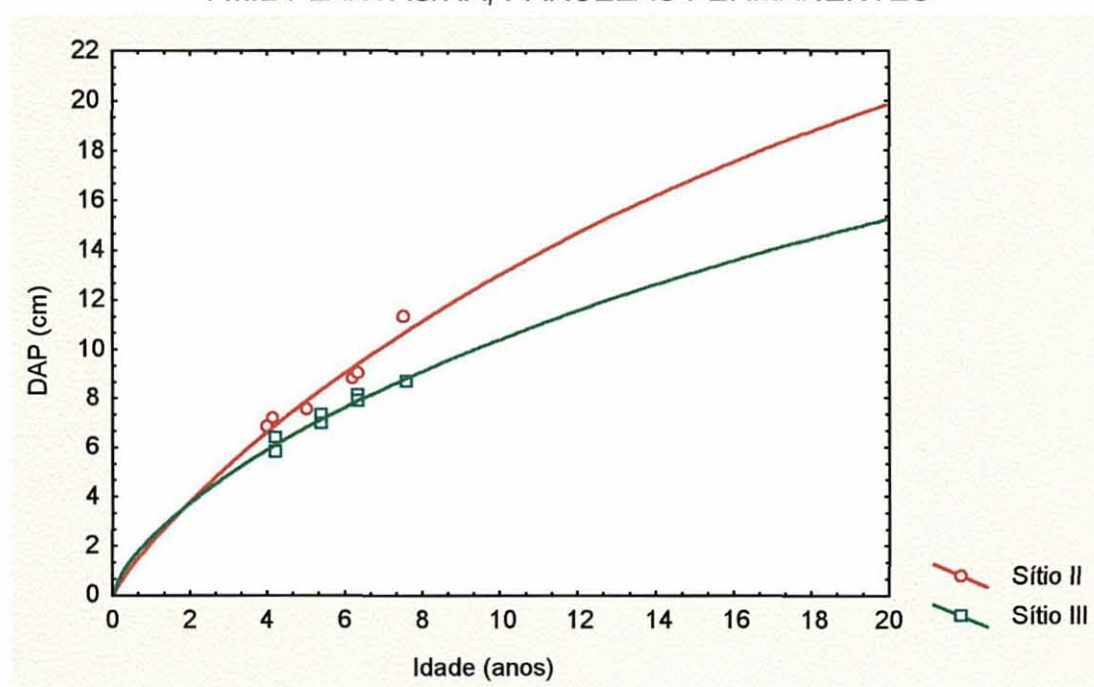


FIGURA 48 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP,
8 MIL PLANTAS/HA, PARCELAS PERMANENTES

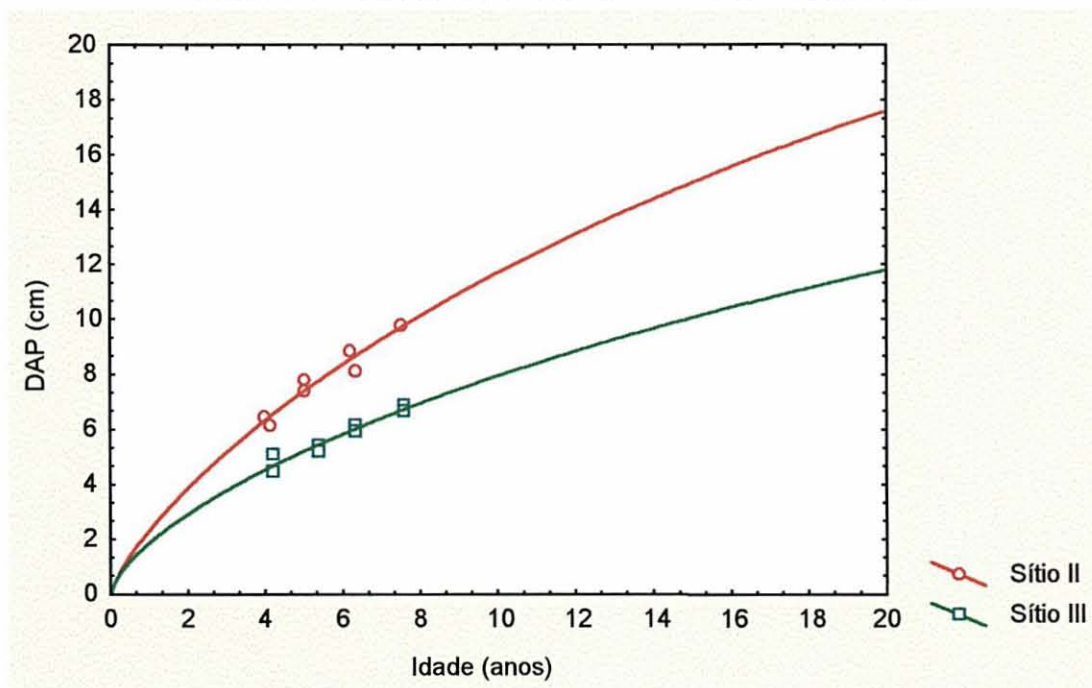
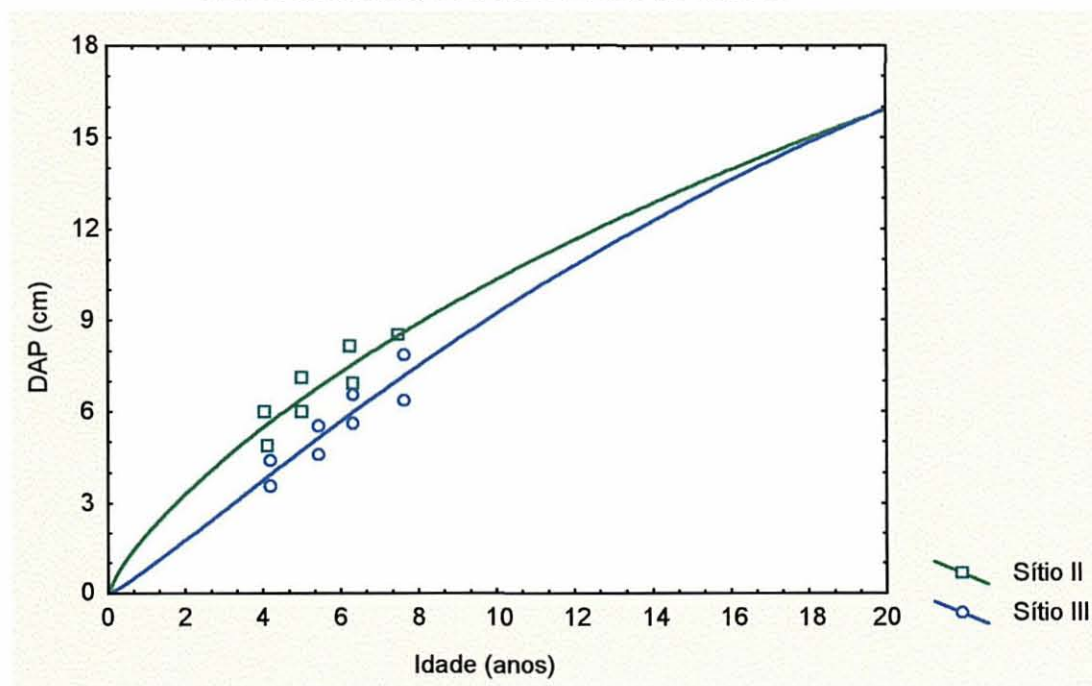


FIGURA 49 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP,
TESTEMUNHA, PARC. PERMANENTES



Considerando-se a variável DAP médio, verifica-se que, à medida que a competição aumenta (dentro de determinados limites), a diferença entre os sítios se acentua. Em outras palavras, as classes de sítio se definem mais claramente com o aumento da densidade inicial, até um certo ponto, do qual a testemunha já teria passado. As figuras 50, 51, 52 e 53, que plotam os valores médios observados de DAP por sítio, ratificam as conclusões expostas.

Provavelmente, quando a densidade é baixa (2 mil plantas/ha) o sítio não se manifesta de forma muito óbvia para a variável DAP, porque a competição é baixa. Ou seja, com pouca competição, o crescimento não deve ter sido tão influenciado pelo sítio. À medida que a competição aumenta (4 mil e 8 mil plantas/ha), a qualidade do sítio interfere de forma mais clara no crescimento em diâmetro das árvores. E, no outro extremo, quando a competição é forte demais (testemunha), o sítio tem pouca chance de se expressar. Isto é, um sítio melhor não necessariamente implica maiores valores de DAP, sob condições extremas de competição.

FIGURA 50 - DAP X IDADE,
2 MIL PLANTAS/HA

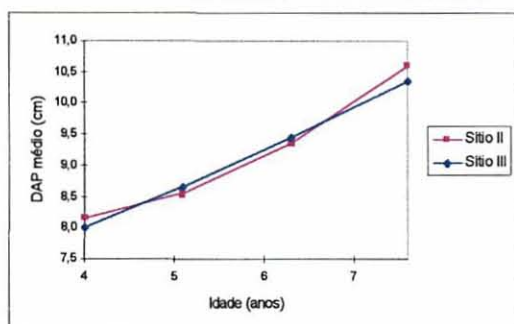


FIGURA 51 - DAP X IDADE,
4 MIL PLANTAS/HA

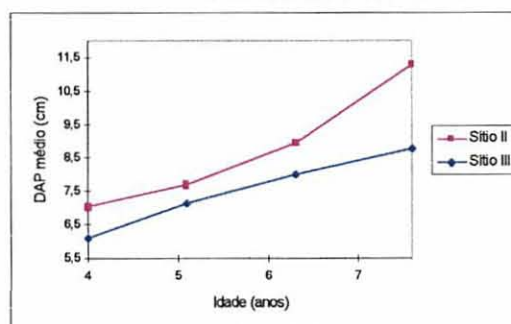


FIGURA 52 - DAP X IDADE,
8 MIL PLANTAS/HA

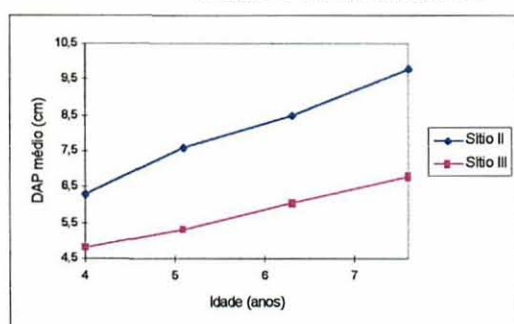
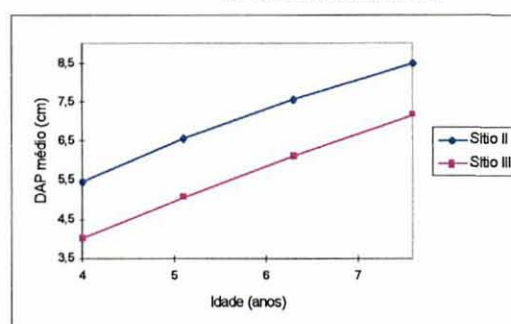


FIGURA 53 - DAP X IDADE,
TESTEMUNHA



Agora agrupadas em classes de sítio, as mesmas equações da tabela 37 estão representadas nas figuras 54 e 55, juntamente com os pontos observados.

O parâmetro k agora é comparado dentro de cada classe de sítio. Para a classe de sítio II, os valores diminuem na seguinte ordem de tratamentos: 2 (4 mil plantas/ha), 4 (testemunha), 3 (8 mil plantas) e 1 (2 mil). Observando a figura 54, nota-se que o tratamento 1 começa com os maiores valores de diâmetro médio, mas esses parecem se estabilizar mais cedo que os demais. Em outras palavras, embora nas primeiras medições esse tratamento apresente maiores valores de DAP, na terceira e quarta ele já é alcançado pelos outros. O tratamento 2, por outro lado, começa com observações menores do que as do 1, mas aos 7,6 anos de idade já as ultrapassa, o que provavelmente causa seu maior valor de k . Já para a classe de sítio III a ordem decrescente de valores de k é a seguinte: testemunha, tratamentos 2, 1 e 3. Conclui-se que a densidade inicial exerce pouca influência sobre a estimativa do parâmetro k .

O coeficiente m , por sua vez, apresenta um coeficiente de correlação de 0,65 com as densidades iniciais. Esse valor, embora não seja extremamente significativo, também não deve ser ignorado, e demonstra que quanto maior a densidade, maior o valor de m , e vice-versa.

PIENAAR e TURNBULL (1973) derivaram a equação de Chapman-Richards e deduziram que $m^{1/(1-m)}$ fornece a fração do valor assintótico na qual ocorre a máxima taxa de crescimento, e que, portanto, determina a localização do ponto de inflexão. Assim, os resultados indicam que uma parcela com maior número de árvores teria o ponto de inflexão da sua curva de produção de DAP médio localizado num percentual maior de A , ou seja, atingiria sua taxa de produção máxima mais tarde, proporcionalmente ao seu valor assintótico. Esse resultado confirma o que seria esperado teoricamente.

Embora a tendência teórica de variação do coeficiente m esteja compreendida e faça sentido, os valores negativos resultantes impedem que se

calcule as percentagens das assíntotas e as idades nas quais os pontos de inflexão foram atingidos.

FIGURA 54 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, SÍTIO II - PARCELAS PERMANENTES

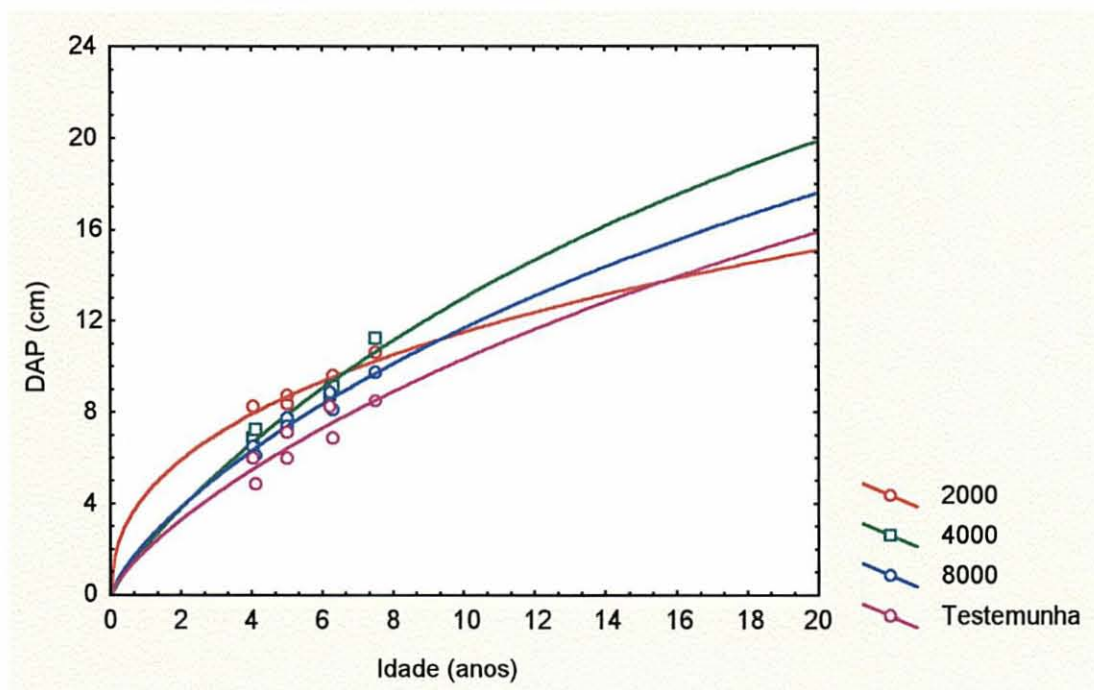
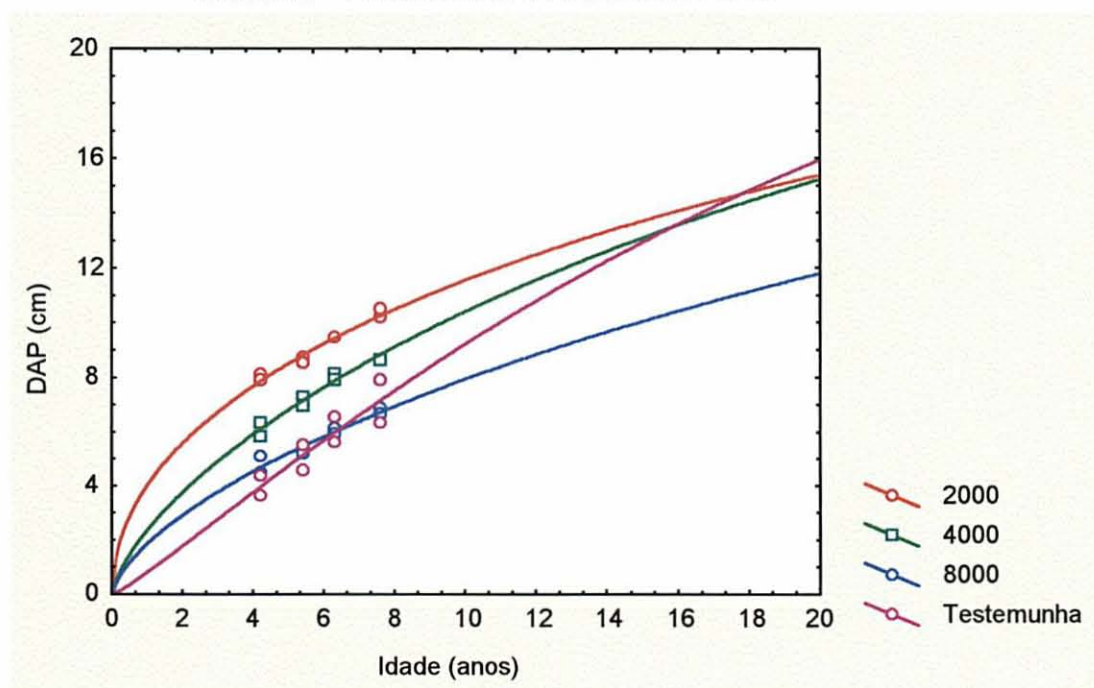


FIGURA 55 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, SÍTIO III - PARCELAS PERMANENTES



4.2.1.2 Parcelas Temporárias

O mesmo modelo foi ajustado com os dados das 124 parcelas temporárias, agrupados por sítios. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 39.

TABELA 39 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS
PARA DAP - PARC. TEMPORÁRIAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	34,21	40,12	33,84
b	0,8037	0,8037	0,8266
k	0,04894	0,03751	0,04457
m	0,2651	0,3346	0,3113
R ²	0,60	0,78	0,64
R ² _{ajust.}	0,53	0,77	0,60
S _{xy} %	18,8	14,9	19,1
N	20	72	32

Percebe-se que os valores de A obtidos para as parcelas temporárias foram mais altos do que os das parcelas permanentes, provavelmente porque as parcelas permanentes foram medidas até mais tarde (11 anos para o sítio I, 18 para o II e 13,5 anos para a classe III), o que deve ter “forçado” a assíntota mais para cima.

Os valores de R²_{ajustado} e S_{xy}% são compreensivelmente mais baixos e mais altos, respectivamente, uma vez que essas parcelas não têm a uniformidade daquelas que fazem parte de um experimento devidamente estabelecido e manejado.

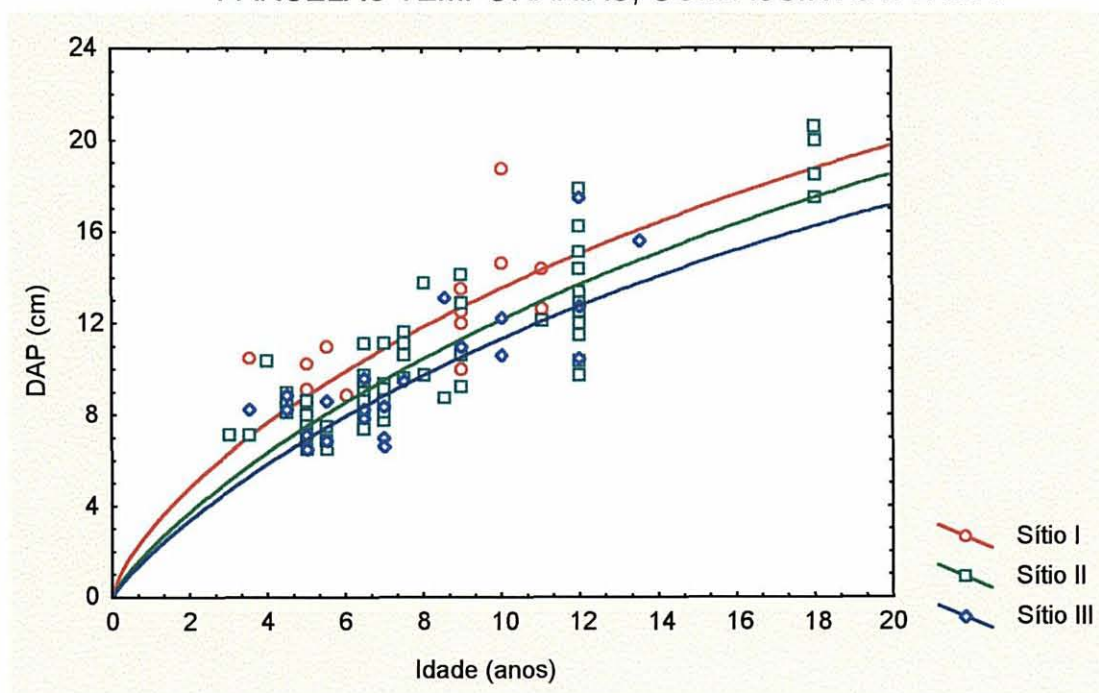
Ajustou-se novamente o modelo, fixando-se a assíntota nos mesmos valores das parcelas permanentes, uma vez que as mesmas classes de sítio devem atingir os mesmos valores de DAP. Para o sítio I, cuja modelagem não havia sido realizada, **A** foi fixado no próprio valor obtido por ajuste livre. Mais uma vez, estabeleceu-se que o coeficiente **b** seria igual a um, pelos motivos já expostos. Os resultados são apresentados na tabela 40.

TABELA 40 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS
PARA DAP, COM ASSÍNTOTA FIXA -
PARCELAS TEMPORÁRIAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	34,2	31,6	27,1
k	0,02994	0,03586	0,04318
m	-0,4609	-0,2587	-0,2052
R^2	0,59	0,76	0,61
$R^2_{ajust.}$	0,55	0,75	0,58
$S_{xy}\%$	18,1	15,5	19,1
N	22	72	32

As equações da tabela acima estão representadas graficamente na figura 56.

FIGURA 56 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP,
PARCELAS TEMPORÁRIAS, COM ASSÍNTOTA FIXA



O teste de F parcial foi executado para comparar as equações de livre ajuste e as de assíntota fixa. Para nenhum dos sítios foi registrada diferença significativa ao nível de 1%. Para o sítio II, no entanto, foi detectada diferença a 5%.

4.2.1.3 Combinação das Parcelas Temporárias e das Testemunhas das Parcelas Permanentes

Da associação das parcelas temporárias e permanentes, obteve-se um total de 149 parcelas, divididas nas 3 classes de sítio. Os resultados do ajuste do modelo de Chapman-Richards para essa combinação estão apresentados na tabela 41.

TABELA 41 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS
PARA DAP – PARC. TEMPORÁRIAS
E PERMANENTES TESTEMUNHAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	34,69	30,50	24,86
b	0,5986	0,07754	0,5902
k	0,06495	0,07724	0,08707
m	0,5964	0,9614	0,6423
R^2	0,65	0,78	0,64
$R^2_{ajust.}$	0,59	0,77	0,61
$S_{xy}\%$	19,3	15,6	21,1
N	22	79	40

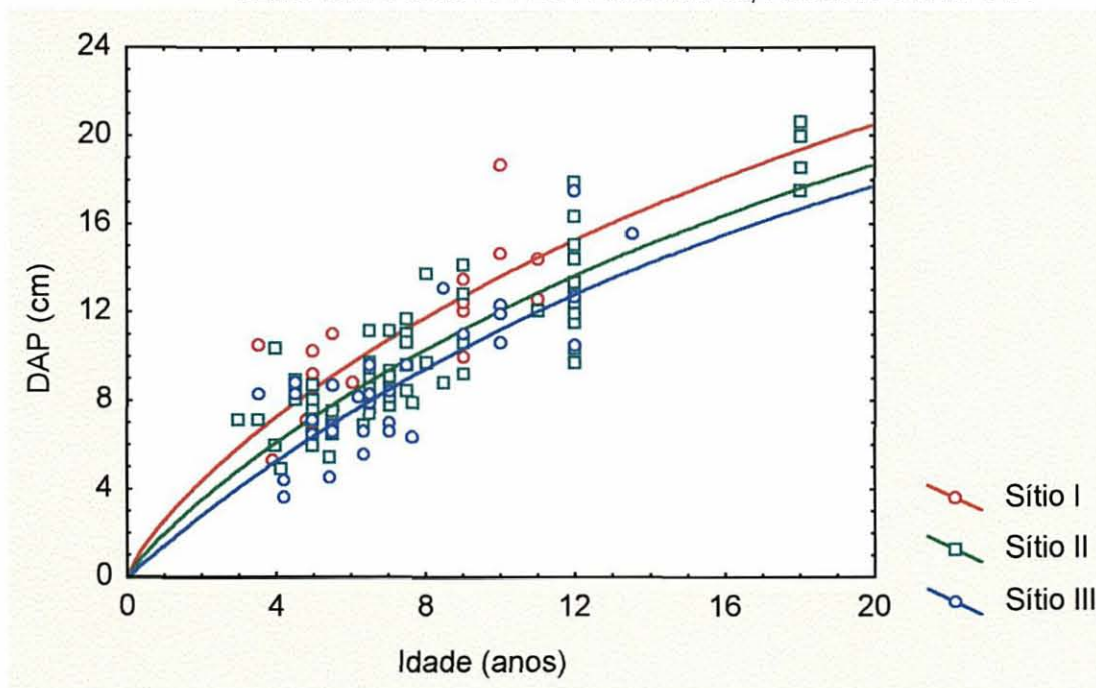
As assíntotas foram, mais uma vez, fixadas nos valores obtidos para as parcelas permanentes e as equações de ajuste livre e os coeficientes e estatísticas encontram-se na tabela 42. O parâmetro *b* foi fixado em 1, conforme explicação anterior.

TABELA 42 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA DAP,
COM ASSÍNTOTA FIXA - PARCELAS
TEMPORÁRIAS E PERMANENTES TESTEMUNHAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	34,2	31,6	27,1
k	0,03611	0,03849	0,05236
m	-0,2986	-0,1881	-0,02010
R^2	0,64	0,76	0,63
$R^2_{ajust.}$	0,60	0,75	0,61
$S_{xy}\%$	18,6	16,1	21,0
N	22	79	40

As equações da tabela 42 estão representadas graficamente na figura 57. Os dados observados são representados pelos pontos.

FIGURA 57 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA DAP, PARA A COMBINAÇÃO DOS DADOS DE PARC. TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHAS, ASSÍNTOTA FIXA



Da mesma forma que para as parcelas permanentes e para as temporárias separadamente, também para a combinação de ambas foi efetuado o teste do F parcial. Como no caso das parcelas temporárias, para o sítio II as duas equações são estatisticamente iguais a 1%, mas não a 5%. É compreensível e era até esperado esses resultados tão parecidos com os das parcelas temporárias, uma vez que essas representam a maior parte dos dados dessa combinação.

4.2.1.4 Comparação Entre as Equações Para Parcelas Permanentes e Para Parcelas Temporárias e Entre as Equações da Combinação de Dados com Cada Grupo em Separado

As comparações foram realizadas gráfica e estatisticamente. A comparação gráfica está nas figuras 58, 59 e 60, que permitem o confronto

visual das três equações, ajustadas com o valor assintótico fixado para cada classe de sítio.

FIGURA 58 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE DAP COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS E DA COMBINAÇÃO COM AS TESTEMUNHAS DAS PERMANENTES - SÍTIO I

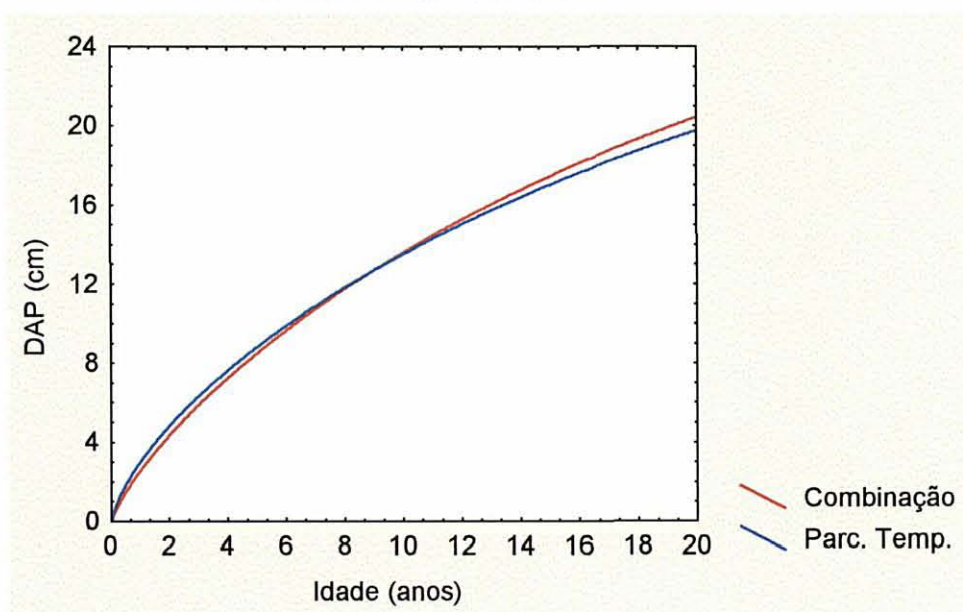


FIGURA 59 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE DAP COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS - SÍTIO II

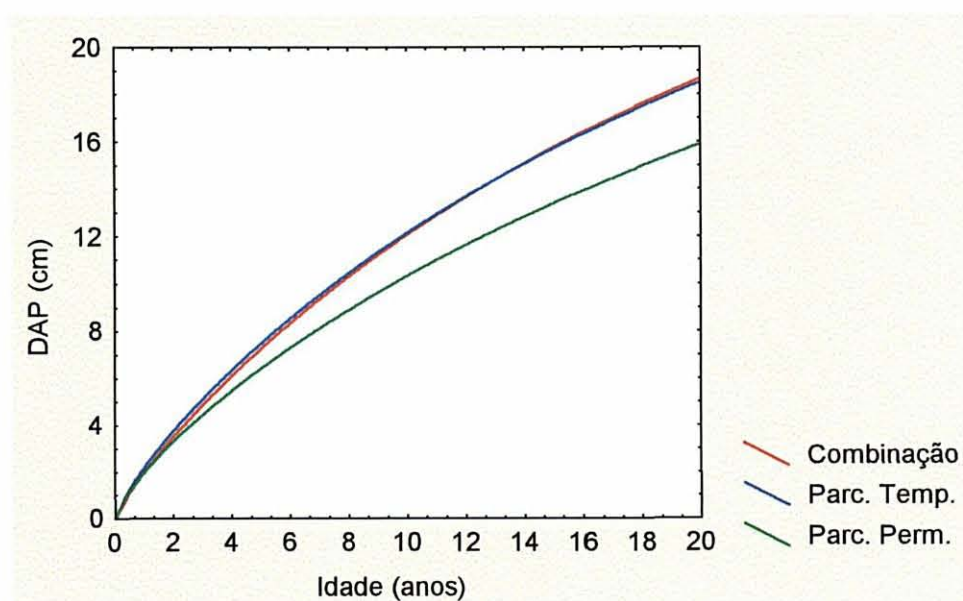
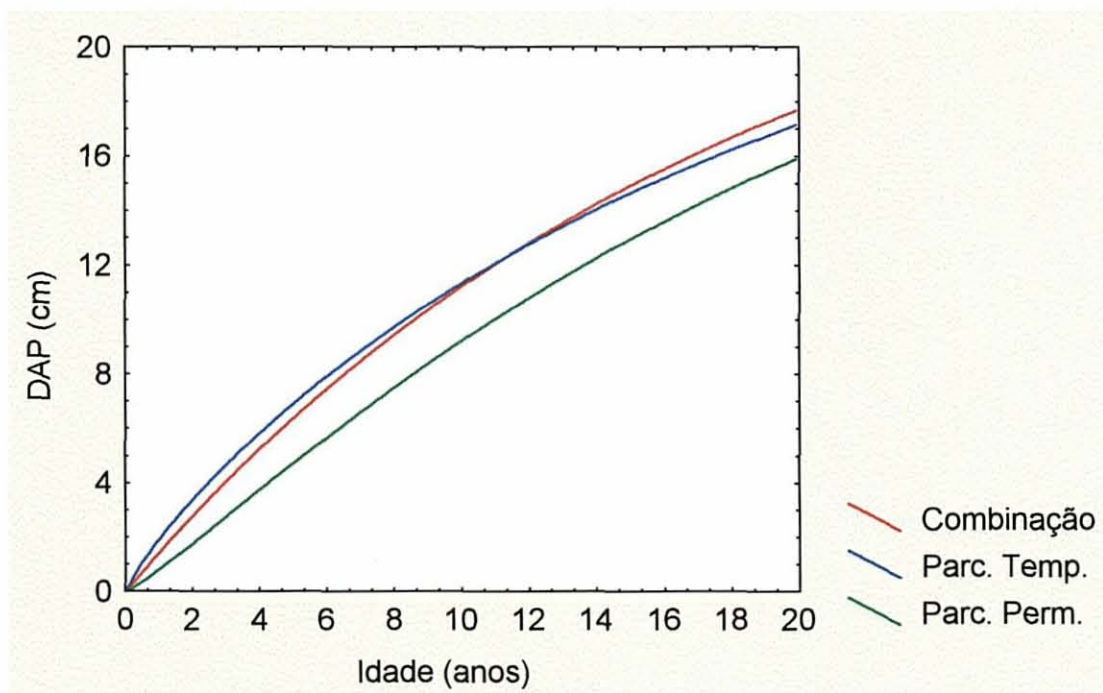


FIGURA 60 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE DAP COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS - SÍTIO III



Como era esperado, a equação da combinação dos dados das parcelas temporárias e permanentes é muito parecida com a ajustada para as temporárias e divergente da equação das permanentes. Como já foi explicado, isso ocorre porque a grande maioria dos dados provém das parcelas temporárias, principalmente para o sítio II, onde 72 dos 79 pares de observações são oriundos dessas.

Para a comparação estatística, utilizou-se o teste do t-pareado, realizados por classe de sítio e por tipo de ajuste (livre ou com assíntota fixa). Quando compararam-se as equações das parcelas permanentes e as das temporárias, todos os resultados indicaram haver diferença significativa, ao nível de 5 e 1%, entre os DAPs estimados.

Foram feitas então as comparações entre as equações combinadas e as das parcelas permanentes. Mais uma vez, os resultados obtidos acusaram diferenças significativas entre as equações para ambos os sítios e tipos de

ajuste. Quando as equações combinadas foram comparadas com as das parcelas temporárias, no entanto, as estimativas foram consideradas estatisticamente iguais para todos os casos, ao nível de 99%.

Os resultados confirmam o que se pode observar nos gráficos. Além disso, permitem concluir que, para esse grupo de dados, não é aconselhável que se usem equações ajustadas com dados de parcelas permanentes na estimativa de DAPs médios de parcelas temporárias nem o uso de uma única equação para as parcelas temporárias e permanentes. A equação única poderia ser utilizada para as parcelas temporárias, mas, do ponto de vista prático, isso não faria sentido.

4.2.2 ALTURA MÉDIA (h)

Ao contrário do que aconteceu com o DAP, para a variável altura média já se começa a notar uma tendência de estabilização. As figuras 61 a 71 mostram esse padrão para cada combinação de tratamento e sítio.

O sítio I, com medições apenas até a idade de 4,8 anos, ainda não apresentou nenhuma tendência de crescimento visível e, portanto, suas observações não foram incluídas nos gráficos. Para as parcelas temporárias, principalmente nas classes de sítio I e III, a estabilização não é óbvia. Isso provavelmente aconteceu devido à maior heterogeneidade entre as parcelas, quando comparadas àquelas pertencentes ao experimento.

FIGURA 61 - ALTURA X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

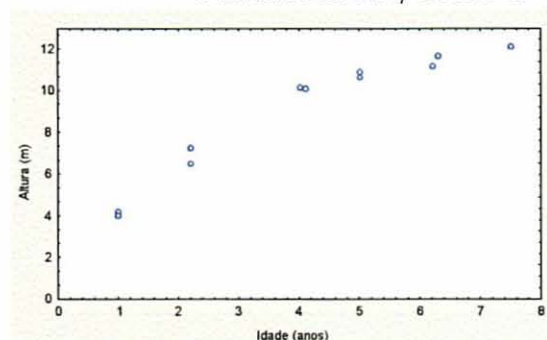


FIGURA 62 - ALTURA X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

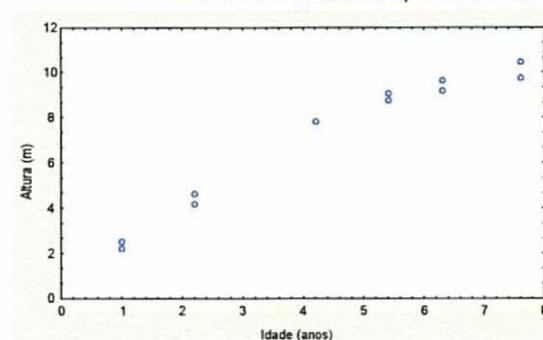


FIGURA 63 - ALTURA X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

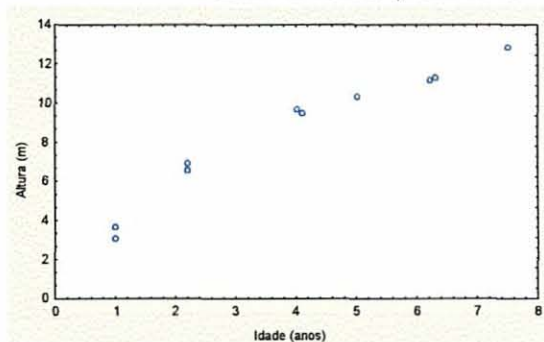


FIGURA 64 - ALTURA X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

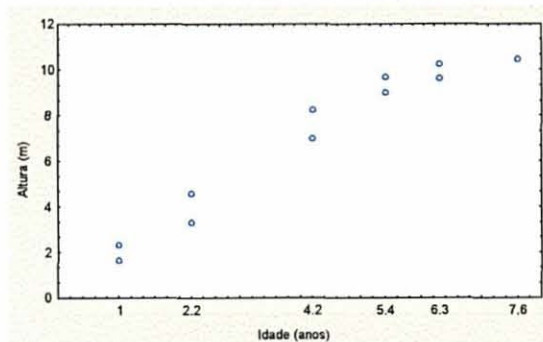


FIGURA 65 - ALTURA X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

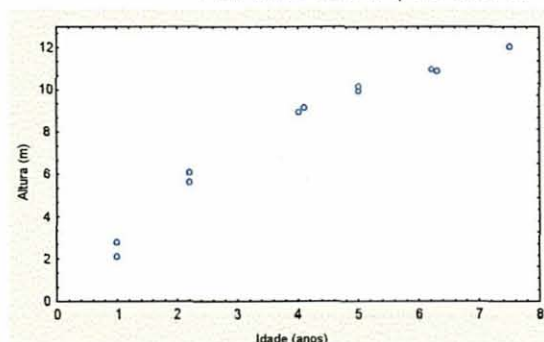


FIGURA 66 - ALTURA X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

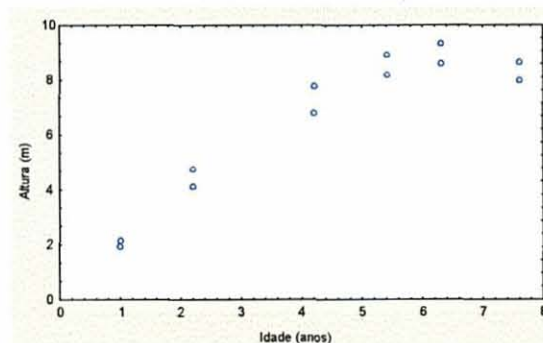


FIGURA 67 - ALTURA X IDADE, TES-TEMUNHA, SÍTIO II

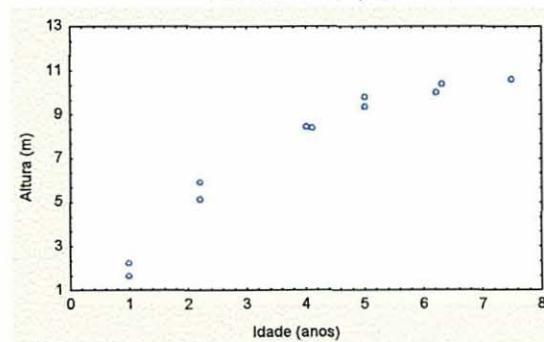


FIGURA 68 - ALTURA X IDADE, TES-TEMUNHA, SÍTIO III

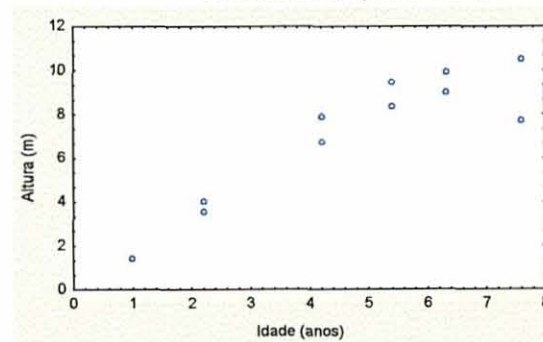


FIGURA 69 - ALTURA X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I

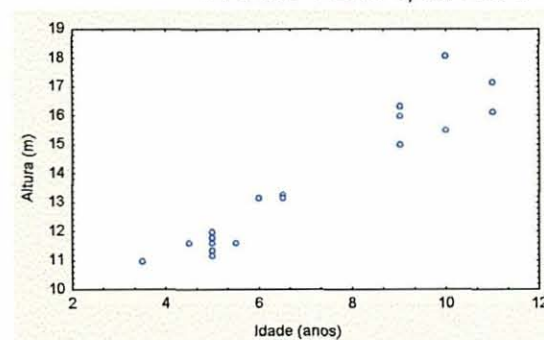


FIGURA 70 - ALTURA X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II

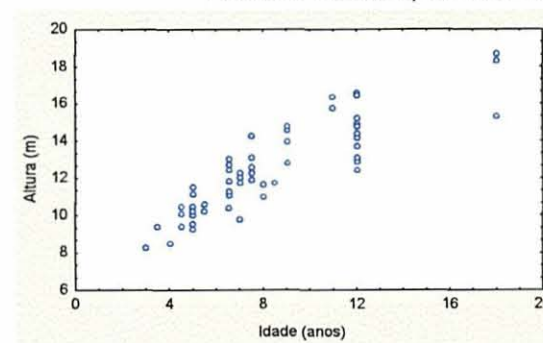
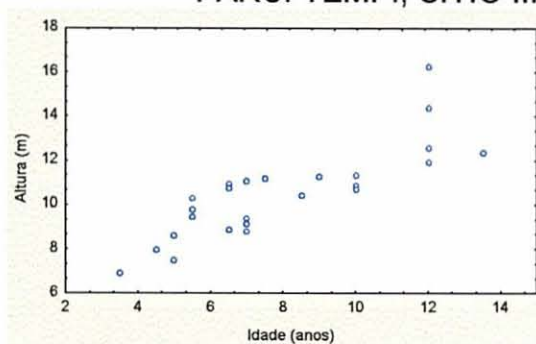


FIGURA 71 - ALTURA X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO III



4.2.2.1 Parcelas Permanentes

Os resultados correspondentes aos melhores ajustes do modelo de Chapman-Richards para a variável h em cada sítio e cada tratamento são apresentados nas tabelas 43 (a) e (b). Para a altura média foi possível o ajuste para a classe de sítio I, uma vez que contam-se com dados extras das idades nas quais essa era a única variável mensurável.

TABELA 43(a) - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA MÉDIA, DENSIDADES 2 E 4 MIL PLANTAS/HA

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio					
	2000			4000		
	I	II	III	I	II	III
A	18,60	12,97	11,59	18,69	13,98	12,29
k	0,1883	0,3448	0,3019	0,2460	0,2740	0,3186
m	-0,2372	-0,05002	0,2010	0,004295	-0,04045	0,3519
R^2	0,997	0,992	0,992	0,991	0,990	0,976
$R^2_{ajust.}$	0,991	0,990	0,990	0,973	0,988	0,971
$S_{xy}\%$	3,7	3,3	4,2	7,4	4,1	8,0
N	4	11	12	4	11	12

TABELA 43(b) – 8 MIL PLANTAS/HA E TESTEMUNHA

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio					
	8000			Testemunha		
	I	II	III	I	II	III
A	18,40	12,94	9,11	18,79	10,93	10,066
k	0,1821	0,3584	0,5301	0,1954	0,5281	0,4997
m	-0,2233	0,2600	0,4440	0,006289	0,4671	0,5555
R^2	0,991	0,995	0,964	0,997	0,992	0,939
$R^2_{ajust.}$	0,973	0,994	0,956	0,991	0,990	0,925
$S_{xy}\%$	6,7	3,3	8,5	3,0	4,3	13,1
N	4	11	12	4	11	12

O coeficiente **A** mais uma vez apresentou forte correlação com o índice de sítio (0,92). Ajustando-se o modelo $A = b_1.N_0 + b_2.S$, foram obtidos os resultados apresentados na tabela 44.

TABELA 44 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO PARÂMETRO **A** EM FUNÇÃO DA DENSIDADE E SÍTIO, PARA ALTURA MÉDIA

$R^2 = 0,9923$		$R^2_{\text{ajust.}} = 0,9907$		$S_{xy} = 1,3933$
Variável	b_i	Erro padrão	t(10)	Probabilidade
Densidade	$-6,377.10^{-5}$	$4,312.10^{-5}$	-1,4790	0,1699 ^{ns}
Sítio	0,08949	0,04192	25,9881	0,0000 ^{**}

O coeficiente estimado para a variável densidade foi não significativo para a estimativa do valor assintótico. Já o coeficiente referente ao sítio foi altamente significativo, indicando que essa variável serve para explicar a evolução do valor de **A**.

Além disso, os resultados das análises de variância para altura média confirmaram esse comentário: o efeito dos blocos (sítios) foi significativo para todas as medições, enquanto que o efeito dos tratamentos (densidades) só o foi no início (devido ao fato de que o desbaste realizado foi seletivo, retirando as árvores mais baixas).

Comprovou-se assim que, como no caso do DAP, o sítio é determinante no valor assintótico atingido, enquanto que a densidade inicial exerce influência quase nula. Para a altura, essa afirmação é ainda mais evidente.

Baseado nessa hipótese, pode-se supor que todas as parcelas localizadas na classe de sítio I têm o potencial para atingir uma altura média de 18,8 m, assim como parcelas das classes II e III deverão conseguir atingir 14,0 e 12,3 m, respectivamente. O modelo de Chapman-Richards foi reajustado, fixando-se esses valores. Essa prática torna os demais coeficientes diretamente comparáveis, além de aumentar o número de graus de liberdade do resíduo, diminuindo o erro. Os resultados dos novos ajustes encontram-se nas tabelas 45 (a) e (b).

TABELA 45(a) - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA MÉDIA, ASSÍNTOTA FIXA - 2 E 4 MIL PLANTAS/HA

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio					
	2000			4000		
	I	II	III	I	II	III
A	18,8	14,0	12,3	18,8	14,0	12,3
k	0,1822	0,2557	0,2517	0,2353	0,2726	0,3178
m	-0,2525	-0,2200	0,1190	-0,03176	-0,04292	0,3508
R ²	0,997	0,990	0,991	0,991	0,990	0,976
R ² _{ajust.}	0,996	0,989	0,990	0,987	0,989	0,974
S _{xy} %	2,6	3,5	4,1	5,1	3,9	7,6
N	4	11	12	4	11	12

TABELA 45(b) – 8 MIL PLANTAS/HA E TESTEMUNHA

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio					
	8000			Testemunha		
	I	II	III	I	II	III
A	18,8	14,0	12,3	18,8	14,0	12,3
k	0,1701	0,2811	0,1793	0,1941	0,2326	0,2640
m	-0,2549	0,1489	-0,1037	0,0006016	0,08141	0,2716
R ²	0,991	0,994	0,932	0,997	0,974	0,925
R ² _{ajust.}	0,987	0,993	0,925	0,996	0,971	0,918
S _{xy} %	4,7	3,5	11,1	3,0	7,3	13,8
N	4	11	12	4	11	12

Quando se fixou o valor assintótico, os valores do coeficiente de determinação ajustado e do erro padrão da estimativa percentual caíram em alguns casos e aumentaram em outros. As diminuições dessa e os aumentos daquela estatística são devidos à melhora dos ajustes nesses casos e/ou ao aumento dos graus de liberdade do resíduo. Os aumentos dos valores do erro, por outro lado, devem-se à perda de ajuste quando se forçou o valor da assíntota.

As equações de ajuste livre e com assíntota fixada foram comparadas através do teste do F-parcial. Como no caso do DAP, a fixação da assíntota num valor determinado não prejudicou as estimativas de altura, com uma única exceção: tratamento 4, sítio II. Em alguns casos, a soma dos quadrados dos resíduos do modelo reduzido foi até menor que a do modelo original, ou seja, a fixação do valor de **A** melhorou o ajuste.

As representações gráficas das equações das tabelas 45 são apresentadas nas figuras 72, 73, 74 e 75 para cada tratamento e nas figuras 76, 77 e 78 para cada sítio.

FIGURA 72 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, 2 MIL PLANTAS/HA

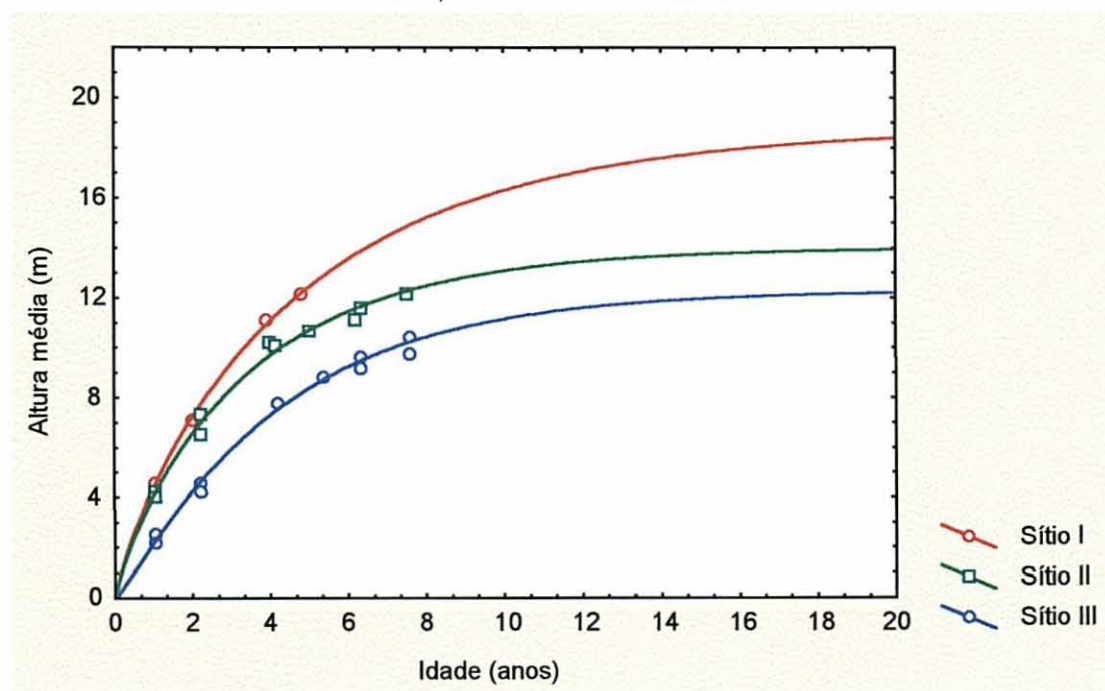


FIGURA 73 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, 4 MIL PLANTAS/HA

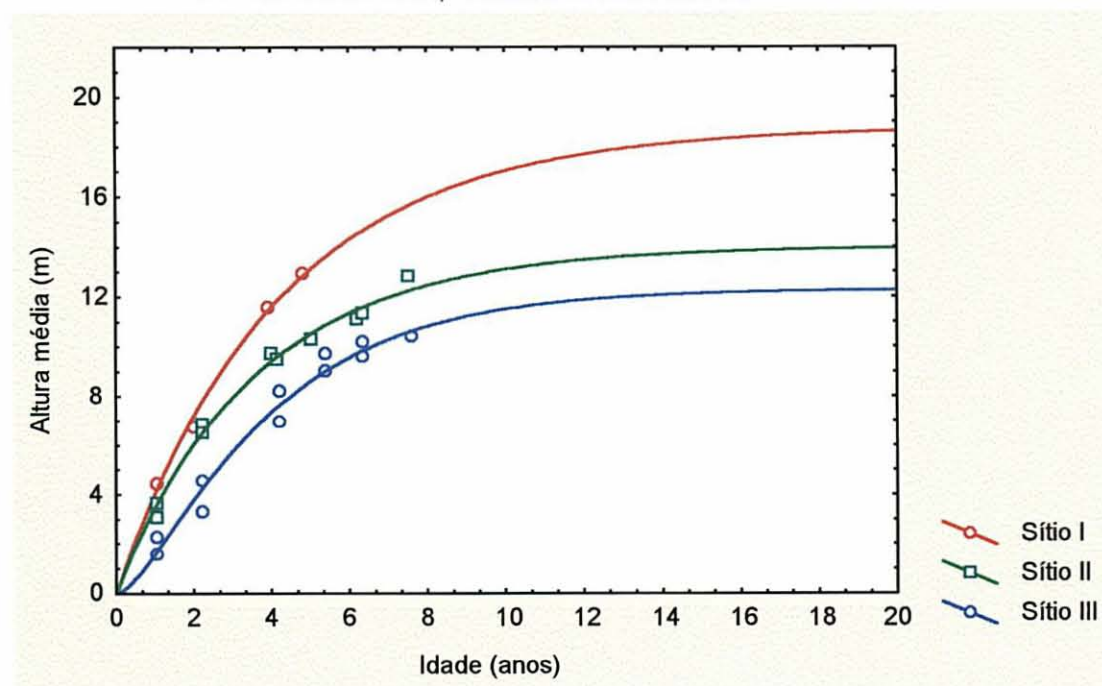


FIGURA 74 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, 8 MIL PLANTAS/HA

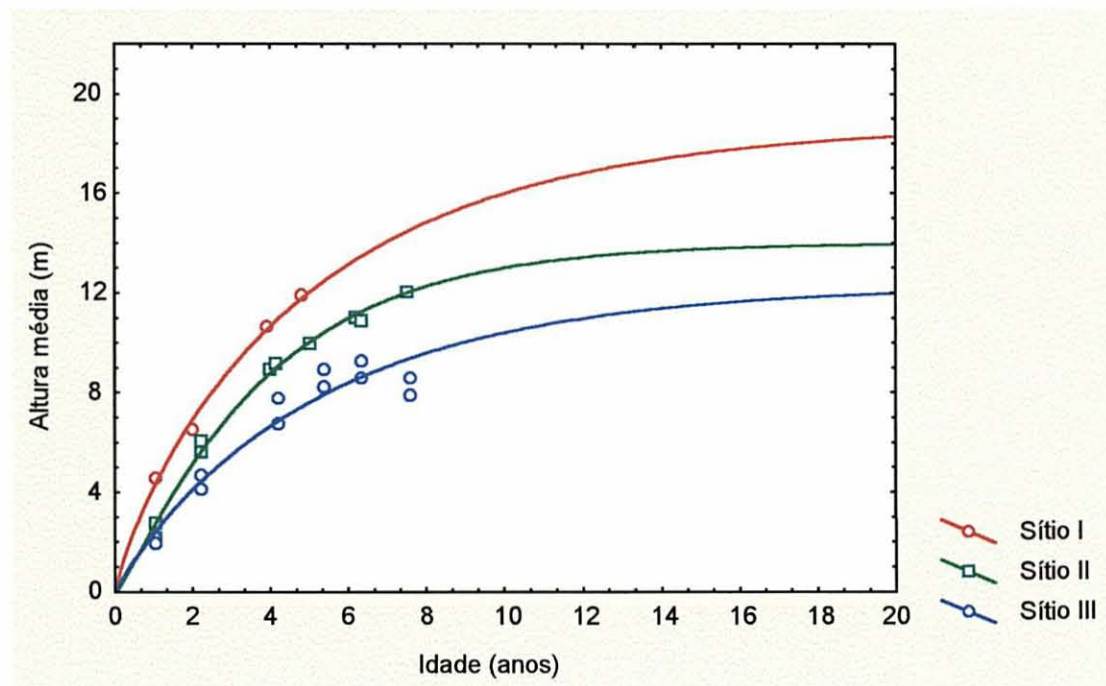


FIGURA 75 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, TESTEMUNHA

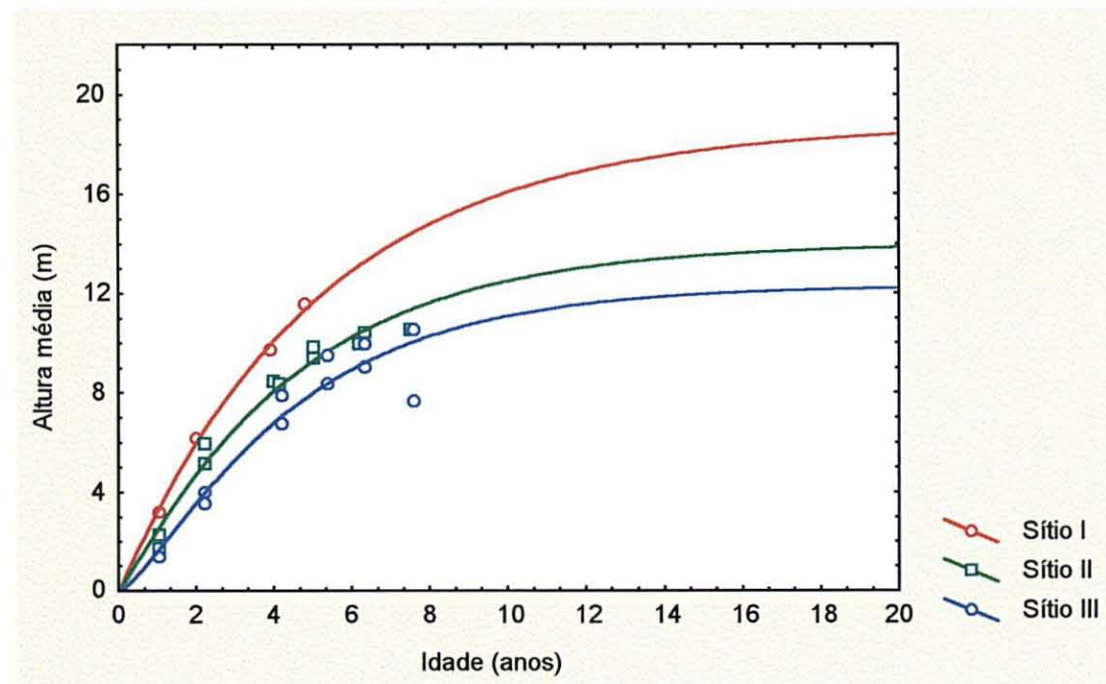


FIGURA 76 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, SÍTIO I

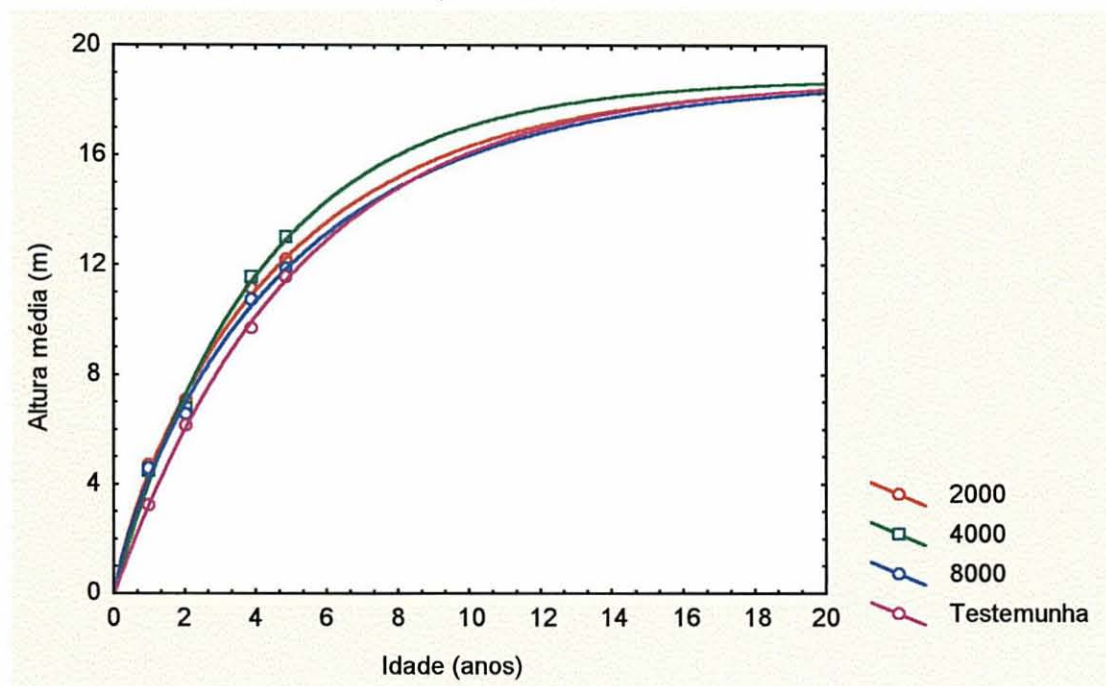


FIGURA 77 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, SÍTIO II

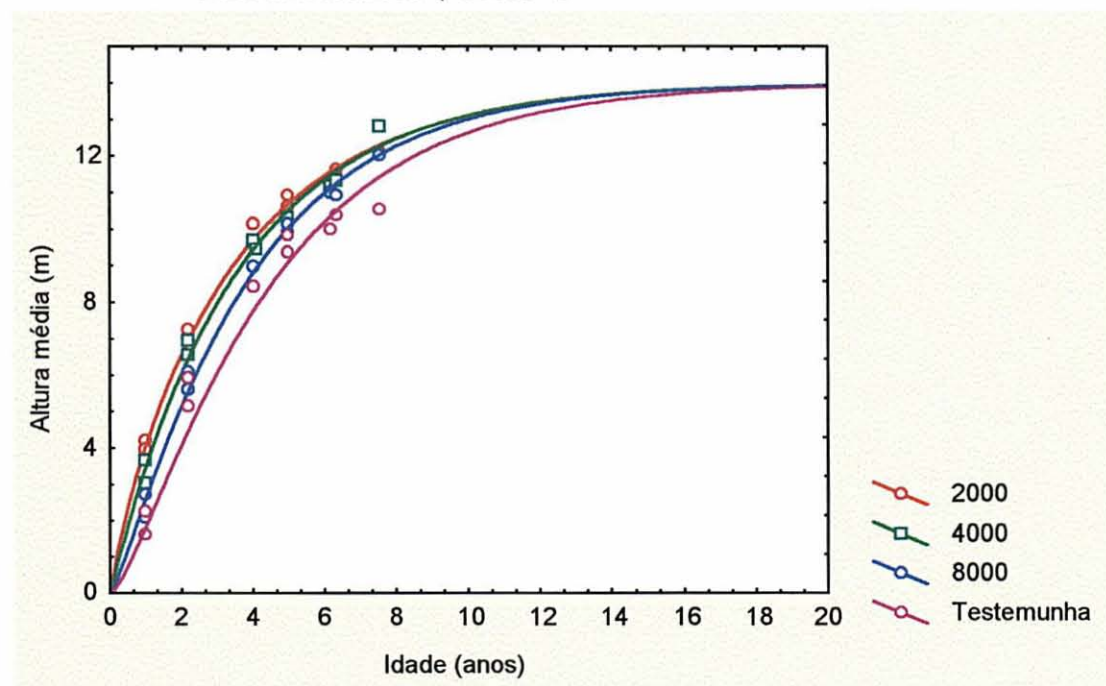
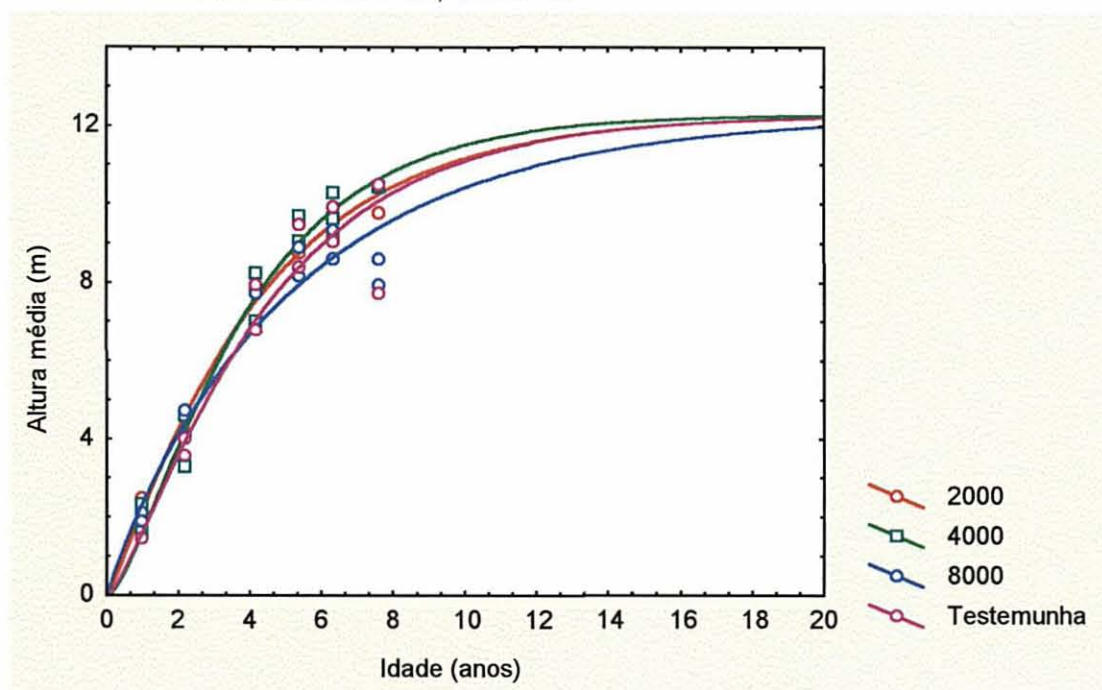


FIGURA 78 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, SÍTIO III



A maior diferença observada quando se compara aos gráficos 72 a 78 com os de DAP, é que, quando agrupados por densidades, os sítios são bem mais definidos e, quando agrupados por sítios, as densidades são bem mais uniformes. Essa distinção era esperada, comprovando que a altura é realmente pouco influenciada pela densidade inicial da parcela e bastante afetada pelo sítio (o que é compreensível, quando se considera que a classificação dos mesmos é feita com base na altura dominante).

Quando se compara o parâmetro k , responsável pela inclinação da curva, dentro de cada tratamento, percebe-se que, de modo geral, seu valor aumenta com a diminuição da qualidade de sítio. Mas essa tendência não é uma regra e o coeficiente de correlação entre esse parâmetro e os índices de sítio é de apenas -0,53.

Analisando-se k dentro das classes de sítio, nenhuma tendência pode ser percebida. De fato, o coeficiente de correlação encontrado para esse parâmetro e as densidades iniciais foi de -0,14.

Para o coeficiente m , dentro das mesmas densidades iniciais, nota-se uma relação inversamente proporcional para os tratamentos 1 e 4, e nenhum tipo de tendência para os outros dois. Dentro das mesmas classes de sítio não se conseguiu reconhecer nenhum tipo de propensão de m em função dos tratamentos, confirmando o baixo coeficiente de correlação calculado (0,34).

4.2.2.2 Parcelas Temporárias

A tabela 46 apresenta os resultados do ajuste do modelo de Chapman-Richards com os dados das parcelas temporárias.

TABELA 46 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA MÉDIA - PARC. TEMPORÁRIAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	24,28	22,07	18,95
k	0,07655	0,05125	0,06240
m	-0,5848	-0,9661	-0,6250
R^2	0,91	0,78	0,72
$R^2_{ajust.}$	0,90	0,77	0,70
$S_{xy}\%$	5,3	8,7	10,7
N	20	72	32

Novamente pode-se notar que o fato dos dados dessas parcelas irem até idades mais avançadas força a assíntota para valores mais elevados. As estatísticas de ajuste, mais uma vez e conforme o esperado, apresentam resultados menos expressivos, devido a maior heterogeneidade das parcelas temporárias, quando comparadas às permanentes.

A tabela 47 apresenta os resultados do novo ajuste da variável altura média, com o coeficiente A fixado no mesmo valor encontrado para as parcelas temporárias.

Através dos resultados do teste de F-parcial, nota-se que, ao contrário do DAP, somente para a classe de sítio I a diferença entre as duas equações é

insignificante. Logo, para a variável altura média, as equações das parcelas temporárias não devem ter sua assíntota fixada no mesmo valor das parcelas permanentes, sob pena de significativa perda de ajuste.

TABELA 47 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARC. TEMPORÁRIAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	18,8	14,0	12,3
k	0,1968	0,3663	0,3143
m	-0,01242	0,4002	0,3719
R^2	0,90	0,60	0,64
$R^2_{ajust.}$	0,89	0,59	0,63
$S_{xy}\%$	5,6	11,5	11,8
N	20	72	32

Para permitir a comparação entre os dois grupos de equações, as de ajuste livre estão representadas graficamente na figura 79 e as com assíntota fixa na figura 80.

FIGURA 79 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, PARC. TEMPORÁRIAS, AJUSTE LIVRE

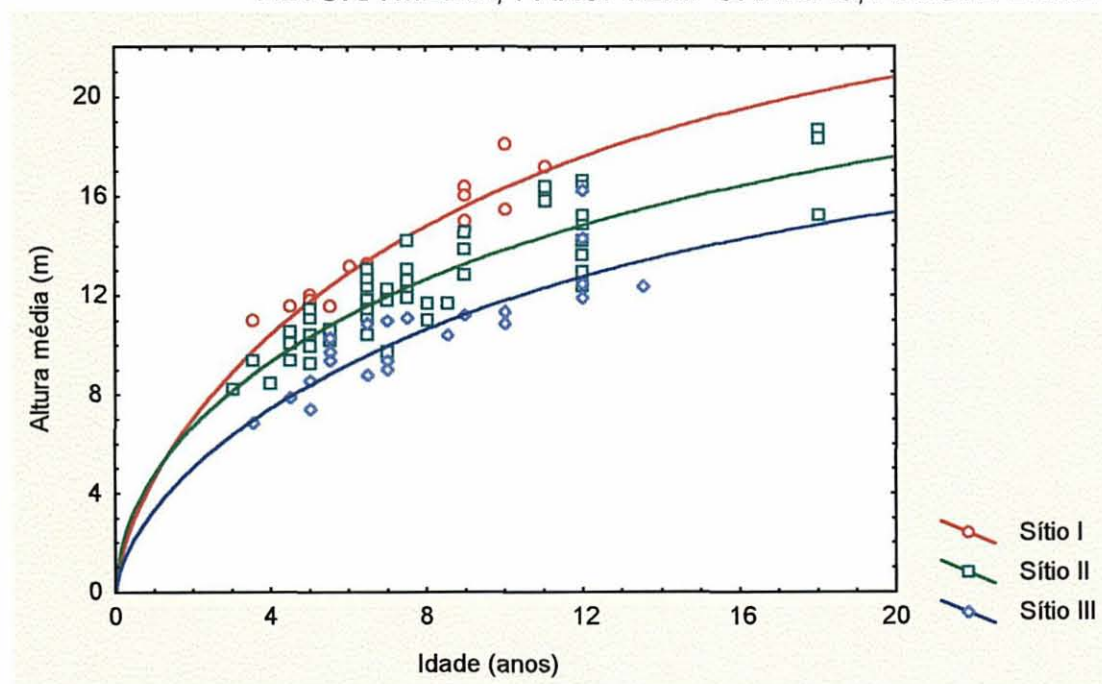
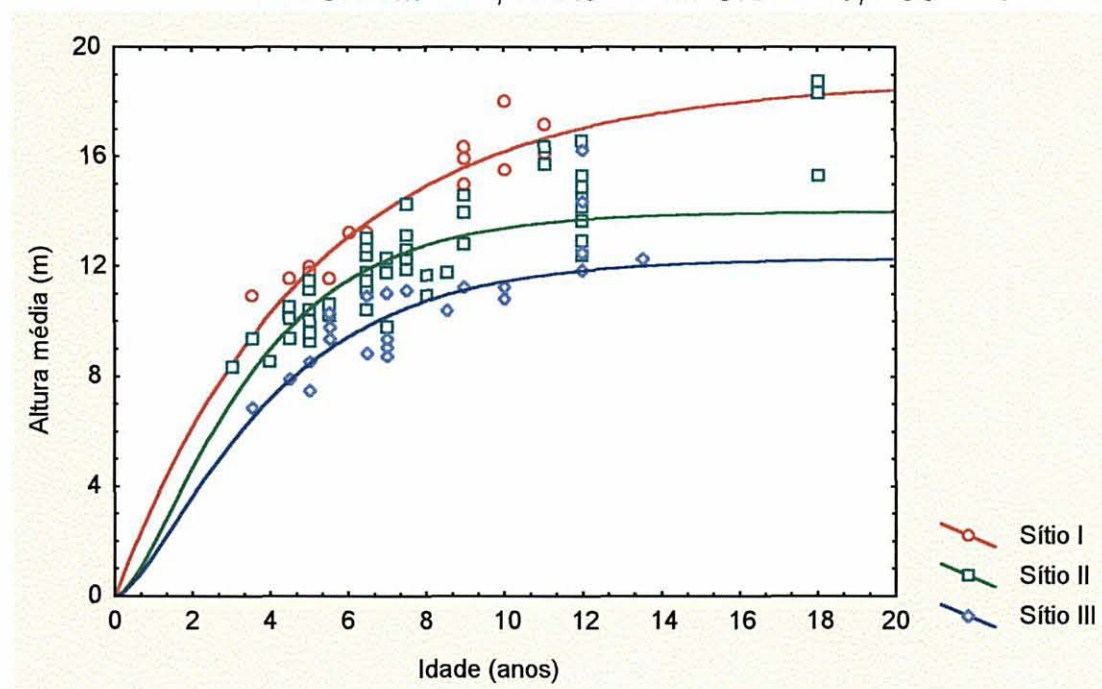


FIGURA 80 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA ALTURA MÉDIA, PARC. TEMPORÁRIAS, ASSÍNTOTA FIXA



4.2.2.3 Combinação das Parcelas Temporárias e das Testemunhas das Parcelas Permanentes

Foram ajustadas equações com os dados combinados, para verificar se uma única equação poderia descrever o comportamento de ambos os grupos de dados. Os resultados do ajuste são mostrados na tabela 48.

TABELA 48 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA - PARCELAS TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHA DAS PERMANENTES COMBINADAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	20,38	18,53	14,47
k	0,1512	0,1173	0,1776
m	-0,1434	-0,3122	0,06620
R^2	0,96	0,86	0,86
$R^2_{ajust.}$	0,96	0,86	0,85
$S_{xy}\%$	5,5	9,6	11,8
N	24	83	44

O modelo foi, então, ajustado novamente, com o valor de A fixado, como já havia sido feito para as parcelas permanentes e temporárias. Os resultados do ajuste encontram-se na tabela 49.

TABELA 49 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARC. TEMPORÁRIAS E TESTEMUNHA DAS PERMANENTES COMBINADAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	18,8	14,0	12,3
k	0,2000	0,3475	0,3069
m	0,01447	0,3634	0,3629
R ²	0,96	0,78	0,84
R ² _{ajust.}	0,96	0,78	0,84
S _{xy} %	5,5	11,8	12,3
N	24	83	44

As equações das tabelas acima estão representadas graficamente nas figuras 81 e 82, respectivamente. Com relação aos resultados do teste de F-parcial, descobre-se que somente para o sítio I, que inclui a menor parte dos dados, não se detecta diferença significativa entre as equações de ajuste livre e aquelas com a valor assintótico fixado. Ou seja, também as equações ajustadas para todos os dados não devem ter a assíntota fixada no valor obtido pelas parcelas permanentes.

4.2.2.4 Comparação Entre as Equações Para Parcelas Permanentes e Para Parcelas Temporárias e Entre as Equações da Combinação de Dados com Cada Grupo em Separado

Como já havia sido feito para a variável DAP, as equações foram comparadas gráfica e estatisticamente. As figuras 83, 84 e 85 mostram as tendências de cada equação para o mesmo sítio, admitindo uma comparação visual.

FIGURA 81 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, AJUSTADO PARA A COMBINAÇÃO DOS DADOS DE PARCELAS PERMANENTES E TESTEMUNHA DO EXPERIMENTO, AJUSTE LIVRE

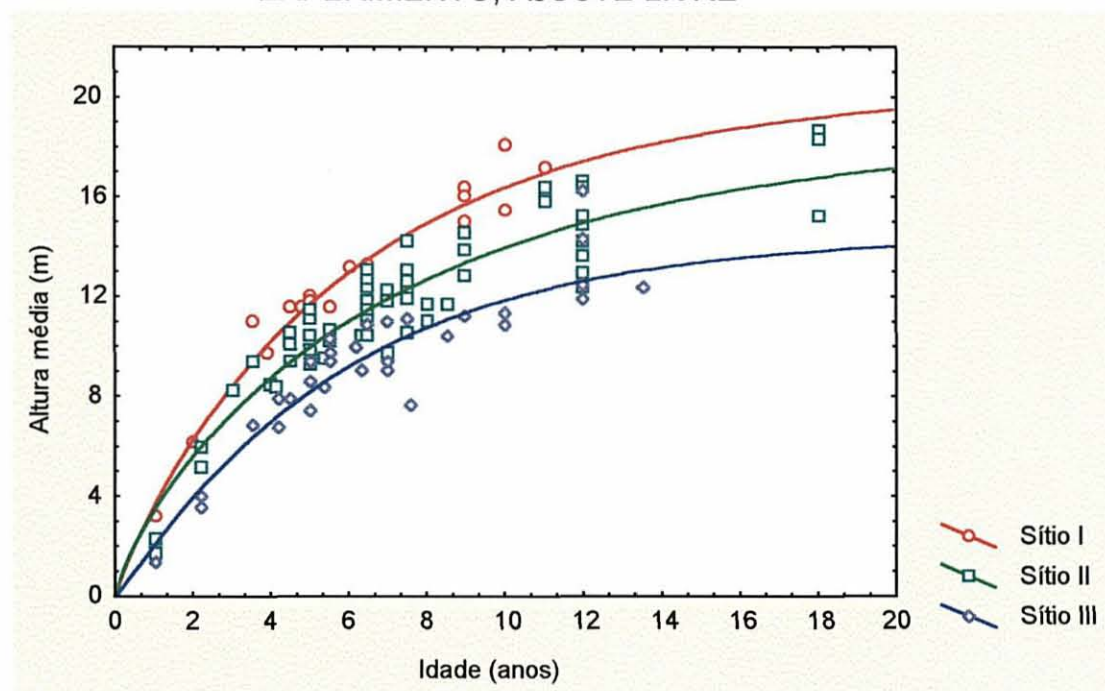
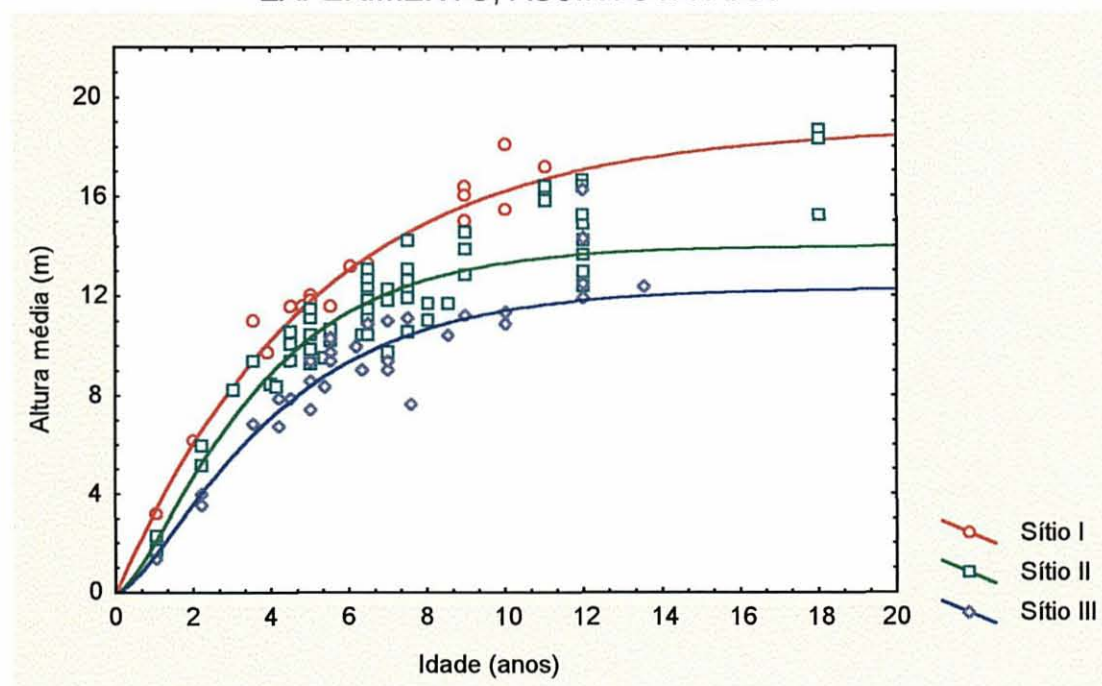


FIGURA 82 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA ALTURA, AJUSTADO PARA A COMBINAÇÃO DOS DADOS DE PARCELAS PERMANENTES E TESTEMUNHA DO EXPERIMENTO, ASSÍNTOTA FIXA



Foram confrontadas apenas as equações de ajuste livre porque, segundo o teste de F-parcial realizado para as equações ajustadas das parcelas temporárias e da combinação dos dois tipos de parcelas, quando o A é fixado no valor obtido para as parcelas permanentes, o ajuste piora consideravelmente, para alguns dos sítios. Logo, essas equações não deverão ser utilizadas na estimativa da variável.

FIGURA 83 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE ALTURA DE AJUSTE LIVRE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DESSAS - SÍTIO I

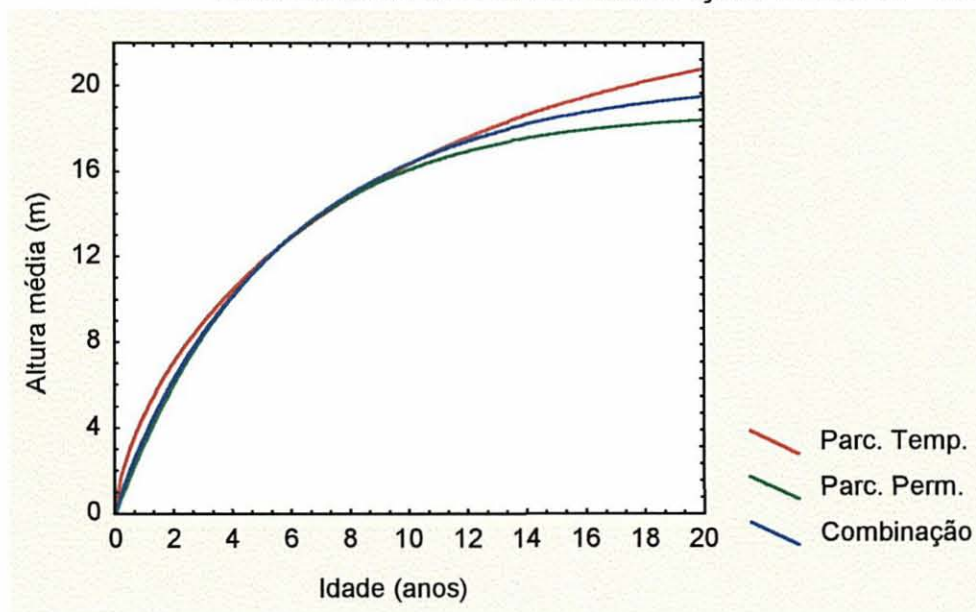


FIGURA 84 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE ALTURA DE AJUSTE LIVRE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DESSAS - SÍTIO II

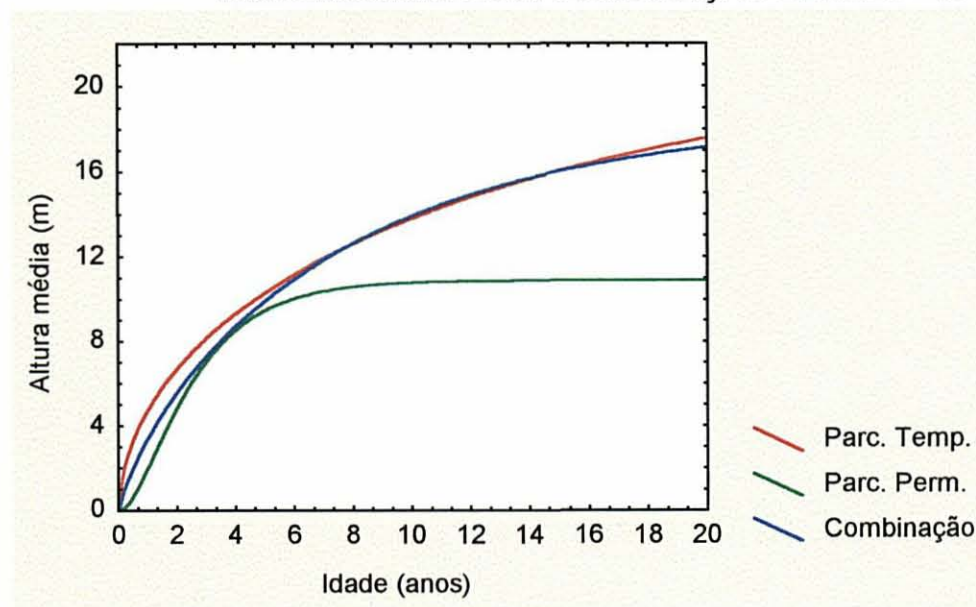
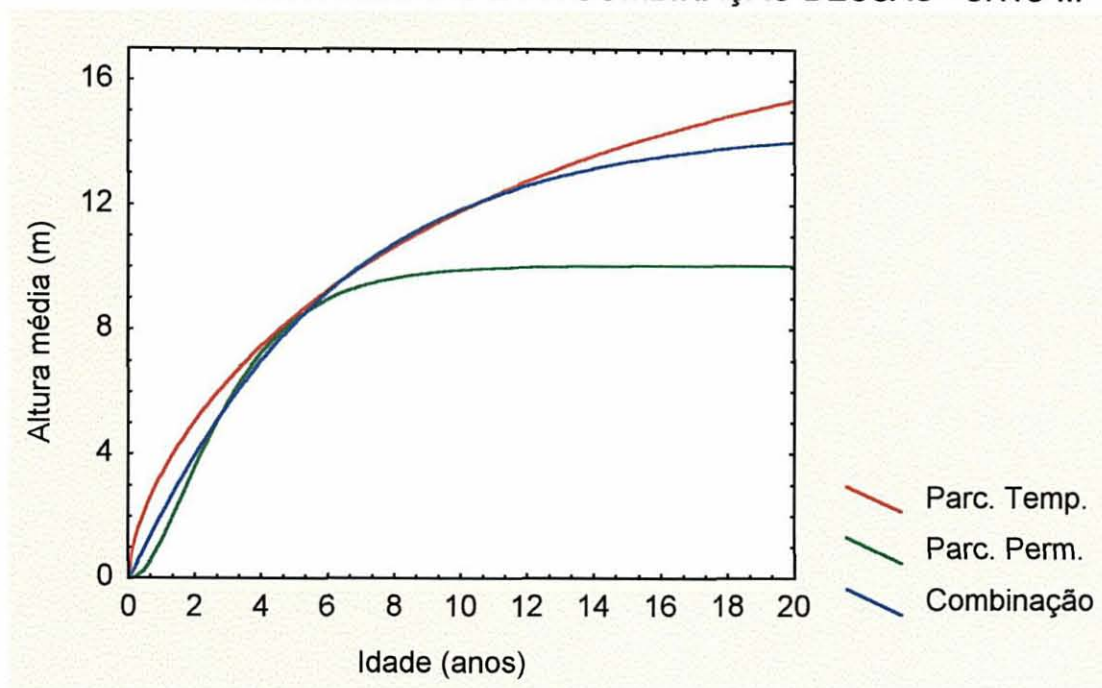


FIGURA 85 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE ALTURA DE AJUSTE LIVRE DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DESSAS - SÍTIO III



A primeira coisa que se percebe nas figuras 83, 84 e 85 é a diferença entre as equações das parcelas permanentes e das demais: para as primeiras a altura média se estabiliza num valor mais baixo. Percebe-se também que, como no caso do DAP, as equações ajustadas para o conjunto de dados combinados estão muito mais próximas das ajustadas para as parcelas temporárias, que perfazem mais de 80% da base de dados.

Para saber se, estatisticamente, as diferenças observadas nos gráficos são ou não significativas, efetuou-se o teste do t-pareado. Quando foram comparadas as estimativas obtidas das equações das parcelas permanentes com as das temporárias, o teste considerou os dois grupos de dados do sítio I como estatisticamente iguais ao nível de significância de 1%. Para as classes de sítio II e III, no entanto, acusou diferenças significativas.

Então, para verificar se uma única equação serviria para estimar alturas para os dois tipos de parcelas, realizou-se o mesmo teste entre as equações combinadas e as permanentes e temporárias, separadamente.

Entre as combinadas e as equações das parcelas permanentes, foi detectada diferença significativa apenas para o sítio II. Para as demais classes, os dois grupos de dados foram considerados como sendo populações estatisticamente iguais. Essa equivalência é compreensível através do gráfico para a classe I. Para a classe de sítio III, entretanto, o gráfico não é tão claro ao mostrar isso. Acontece que o domínio das observações para esse sítio vai somente até os oito anos de idade, ponto a partir do qual essas duas curvas passam a se afastar cada vez mais. Entendendo-se esse detalhe, pode-se compreender porque os gráficos podem ser considerados iguais.

A outra comparação efetuada foi entre as equações combinadas e as das parcelas temporárias. Nesse caso não foram detectadas diferenças significativas para nenhuma das classes de sítio, como seria de se esperar a partir das informações dos gráficos.

Concluindo, para o sítio I as equações ajustadas com os dados das parcelas permanentes serve para estimar alturas para as parcelas temporárias, e vice-versa. Para os sítios II e III, no entanto, as equações não podem ser trocadas. Já as equações combinadas poderiam ser usadas na estimativa de alturas para as parcelas temporárias e para as classes de sítio I e III das permanentes.

4.2.3 VOLUME MÉDIO INDIVIDUAL (v)

Os gráficos apresentados nas figuras 86 a 96 mostram os valores de volume individual plotados em relação ao tempo, para se analisar a tendência de evolução dos mesmos. Não se observa estabilização do volume até os 7,6 anos.

FIGURA 86 - v médio X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

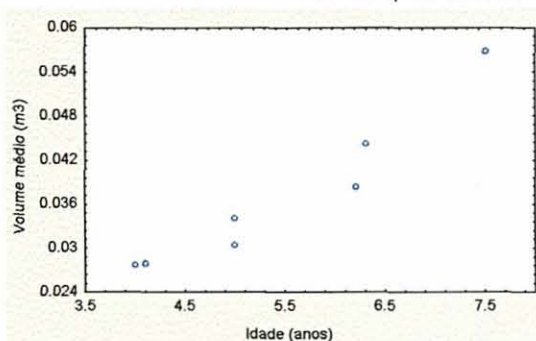


FIGURA 87 - v médio X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

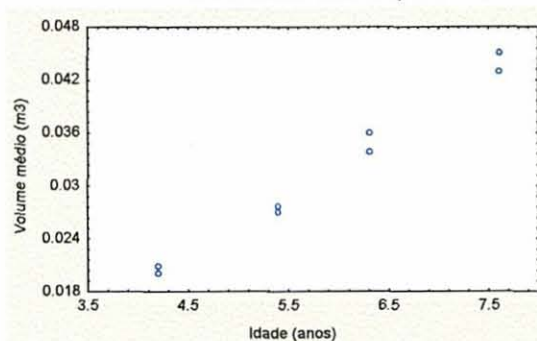


FIGURA 88 - v médio X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

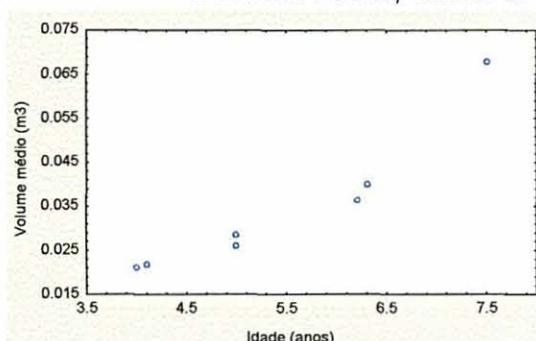


FIGURA 89 - v médio X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

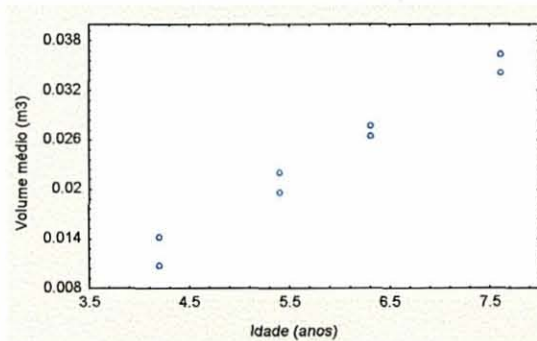


FIGURA 90 - v médio X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

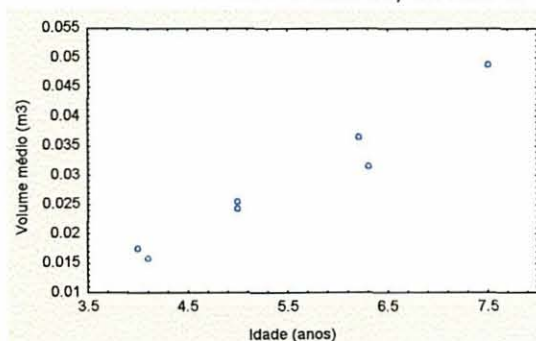


FIGURA 91 - v médio X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

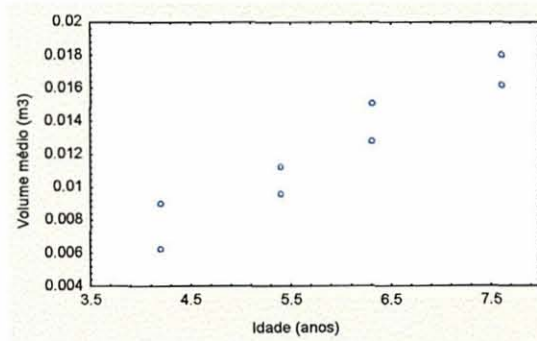


FIGURA 92 - v médio X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II

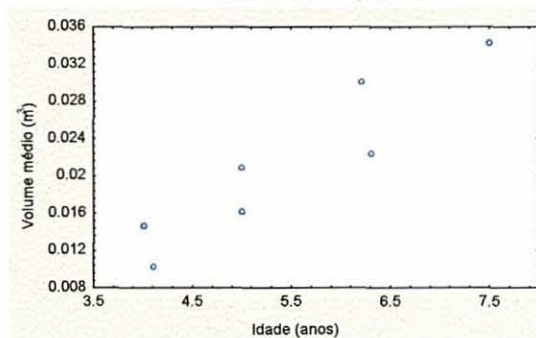


FIGURA 93 - v médio X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III

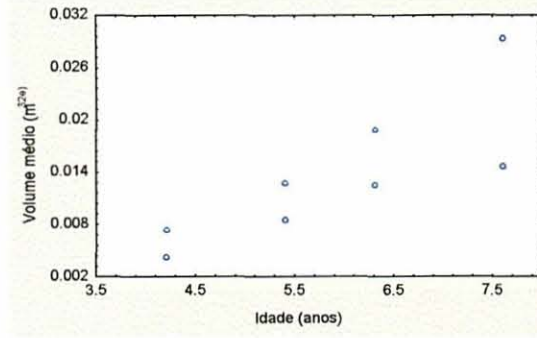
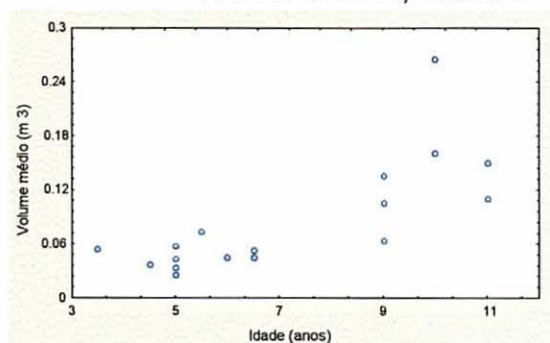
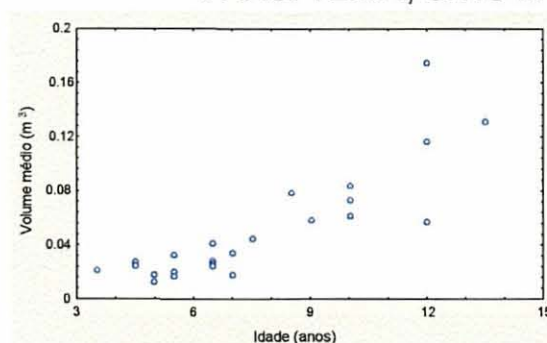
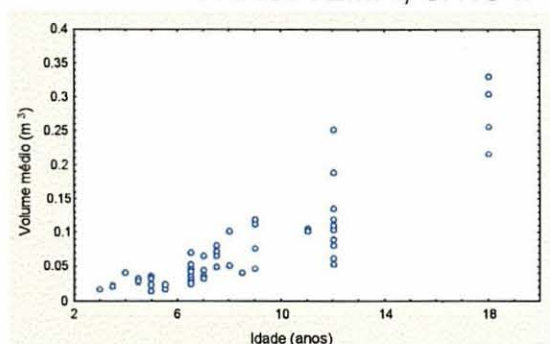


FIGURA 94 - v médio X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO IFIGURA 96 - v médio X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO IIIFIGURA 95 - v médio X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO II

4.2.3.1 Parcelas Permanentes

Os melhores ajustes, escolhidos dentre os vários métodos, do modelo de Chapman-Richards têm seus coeficientes e estatísticas apresentados na tabela 50.

TABELA 50 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE
CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio							
	2000		4000		8000		Testemunha	
	II	III	II	III	II	III	II	III
A	0,5805	0,3232	0,5546	0,3246	0,5387	0,3556	0,5179	0,3234
k	0,02200	0,03078	0,07421	0,05722	0,03700	0,01541	0,02378	0,04611
m	0,2079	0,2242	0,6102	0,5243	0,4217	0,2738	0,3398	0,5493
R ²	0,93	0,98	0,92	0,97	0,96	0,90	0,86	0,66
R ² _{ajust.}	0,90	0,97	0,88	0,96	0,94	0,86	0,79	0,52
S _{xy} %	9,3	5,0	16,3	7,7	9,8	11,9	18,8	39,8
N	7	8	7	8	7	8	7	8

Para a variável volume médio, os erros são, de um modo geral, bem maiores que aqueles obtidos para as variáveis DAP e altura. Essa variável é uma combinação das outras duas e, portanto, sua tendência não é tão linear como o DAP, nem estabiliza tão obviamente quanto a altura, dificultando o ajuste.

Os coeficientes **A** variam entre 0,6 e 0,3, sendo que a sua relação com o sítio é evidente. Calculou-se o coeficiente de correlação entre esse parâmetro e os índices de sítio e obteve-se um valor de 0,99, o que indica correlação quase perfeita. Já entre **A** e os níveis de densidade inicial, o coeficiente de correlação foi calculado em -0,1, demonstrando interdependência fraquíssima.

Os resultados do ajuste da regressão linear do tipo $A = f(N_0; S)$ encontram-se na tabela 51.

TABELA 51 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DO AJUSTE DO PARÂMETRO **A** EM FUNÇÃO DAS DENSIDADES E SÍTIOS, PARA v

	$R^2 = 0,9893$	$R^2_{ajust.} = 0,9857$	$S_{xy} = 0,05418$
Variável	b_i	Erro padrão	t(6)
Densidade	$-1,910 \cdot 10^{-6}$	$2,076 \cdot 10^{-6}$	-0,9203
Sítio	0,03920	$2,232 \cdot 10^{-3}$	16,8833
			Probabilidade
			0,3929
			0,0000**

As significâncias das variáveis independentes permitiram que se fixasse os valores de **A** por classe de sítio, pois o sítio exerce significativa influência sobre esse parâmetro. Diferentemente das duas variáveis anteriores, no entanto, os valores de volume médio não foram fixados no **A** máximo obtido no ajuste livre.

Para a classe de sítio II, por exemplo, o DAP assintótico é de 31,6 cm, enquanto que a altura máxima é de 14 m. Uma árvore com essas medidas teria um volume de $0,54 \text{ m}^3$, calculados através da equação desenvolvida por AHRENS (1981). Portanto os valores de **A** serão fixados no máximo volume possível: 0,54 e 0,35, respectivamente para as classes de sítio II e III. Os novos ajustes são apresentados na tabela 52.

TABELA 52 - COEFICIENTES E ESTATÍSTICAS DE AJUSTE DO MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS PARA v , COM ASSÍNTOTA FIXA

	Densidades (árvs./ha) e classes de sítio							
	2000		4000		8000		Testemunha	
	II	III	II	III	II	III	II	III
A	0,54	0,35	0,54	0,35	0,54	0,35	0,54	0,35
k	0,02396	0,03652	0,07367	0,04760	0,04459	0,01765	0,03061	0,05443
m	0,2166	0,3169	0,6039	0,4776	0,4814	0,3101	0,4238	0,6070
R^2	0,93	0,99	0,92	0,97	0,97	0,91	0,87	0,67
$R^2_{ajust.}$	0,92	0,99	0,90	0,97	0,96	0,90	0,84	0,62
$S_{xy}\%$	9,3	3,7	16,3	7,3	9,0	11,8	18,4	39,5
N	7	8	7	8	7	8	7	8

O novo ajuste melhorou as estatísticas de quase todas as equações. A determinação dos valores assintóticos do volume naqueles obtidos a partir dos valores assintóticos de DAP e altura provou ser uma decisão acertada, que traz as equações para mais perto da realidade biológica.

Analisando-se os coeficientes obtidos através do ajuste das equações com o valor de **A** fixado, não se consegue perceber nenhuma tendência dos mesmos, nem com relação a densidades iniciais nem a qualidade de sítio. De fato, os coeficientes de correlação calculados são de 0,02 para **k**/densidade; 0,12 para **k**/classe de sítio; 0,42 para **m**/densidades e 0,01 para **m**/sítio.

As equações de ajuste livre e com assíntota fixa foram comparadas através do teste de F-parcial e todas as equações com assíntota fixa foram consideradas estatisticamente iguais às originais. Além de serem consideradas iguais, na maioria dos casos o erro da equação reduzida foi menor que o da equação original, o que confirma a melhora das estatísticas com a fixação dos valores de A.

As representações gráficas das equações da tabela 52 estão apresentadas nas figuras 97, 98, 99, 100, 101 e 102, agrupados por tratamento e então por sítio.

FIGURA 97 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, 2 MIL PLANTAS/HA, PARC. PERMANENTES

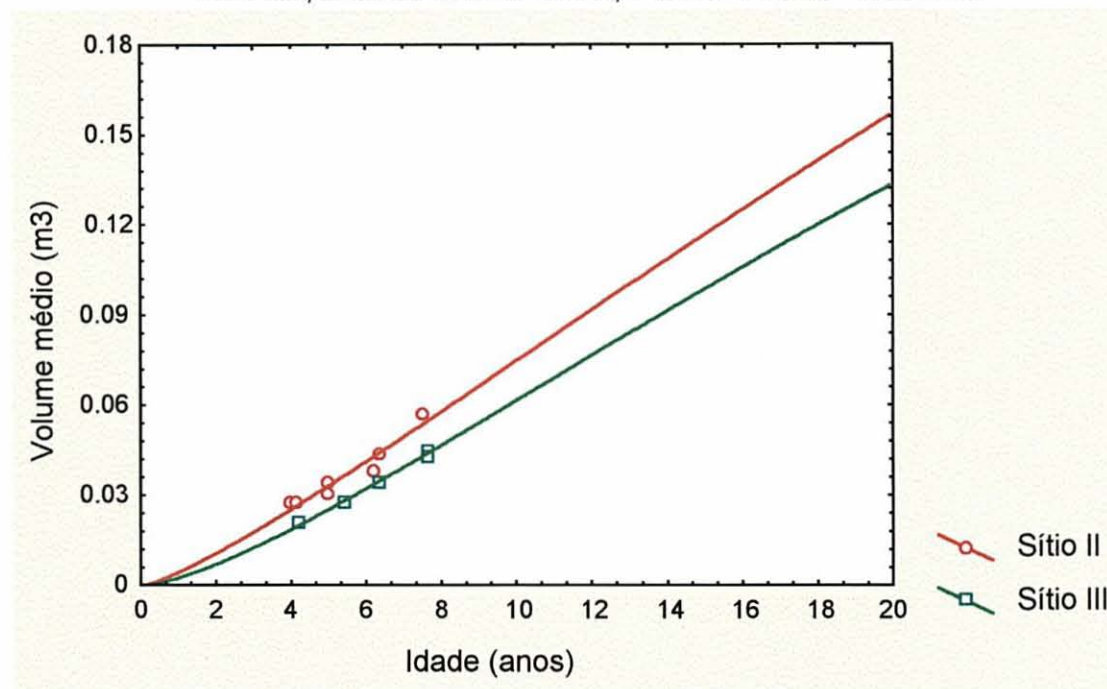


FIGURA 98 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, 4 MIL PLANTAS/HA, PARC. PERMANENTES

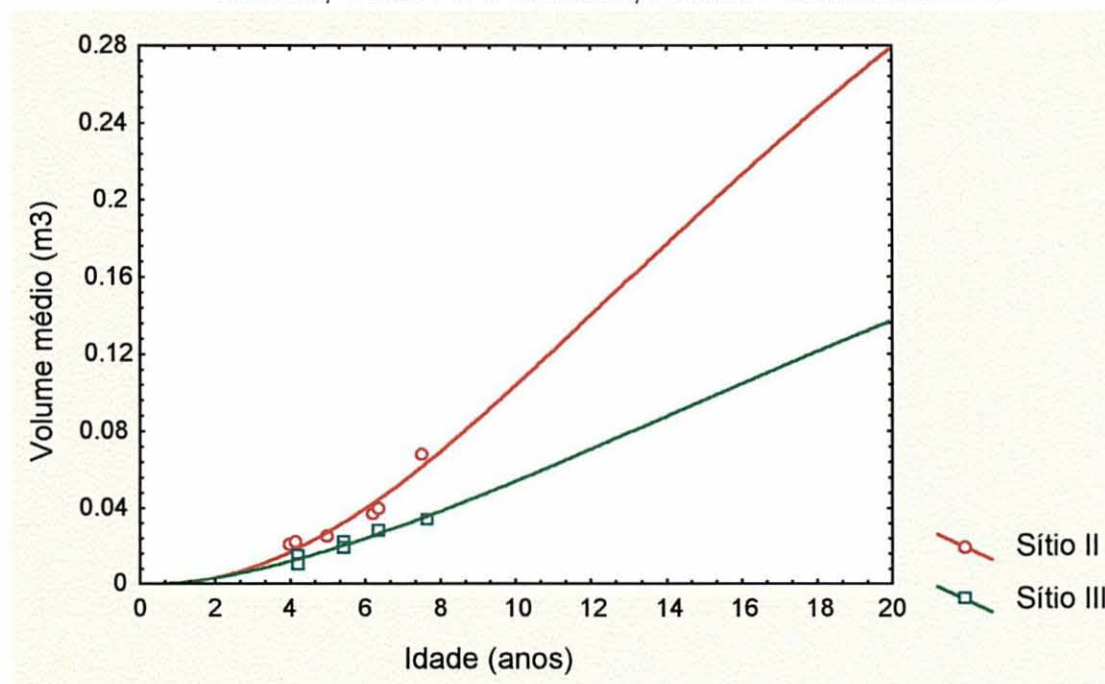


FIGURA 99 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, 8 MIL PLANTAS/HA, PARC. PERMANENTES

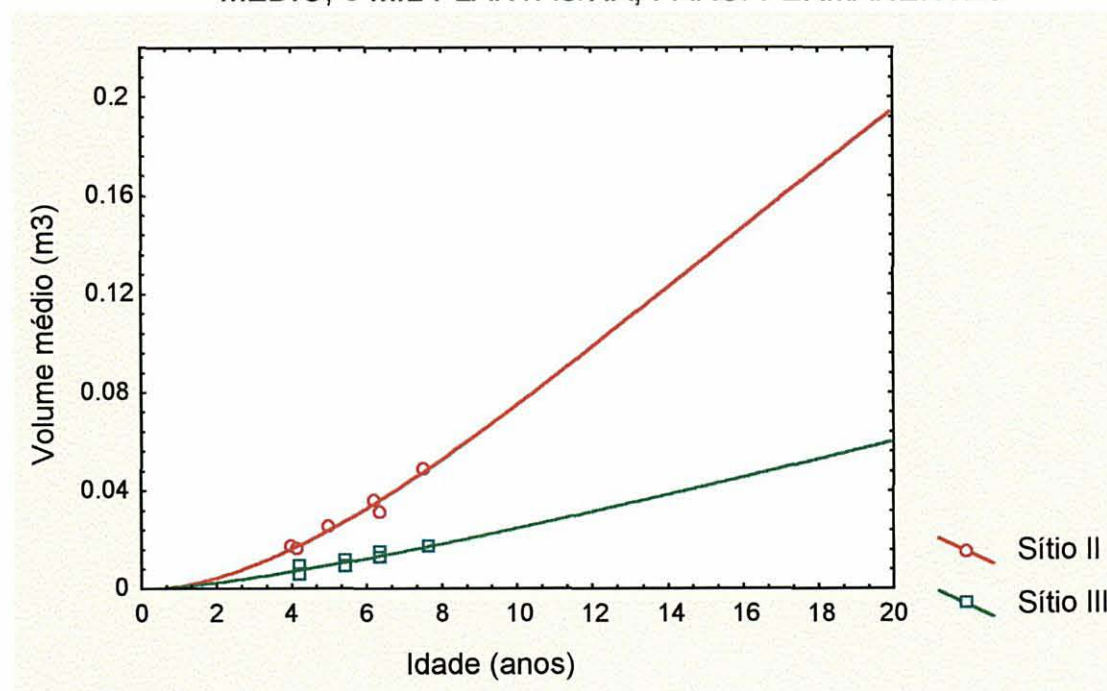


FIGURA 100 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, TESTEMUNHA, PARC. PERMANENTES

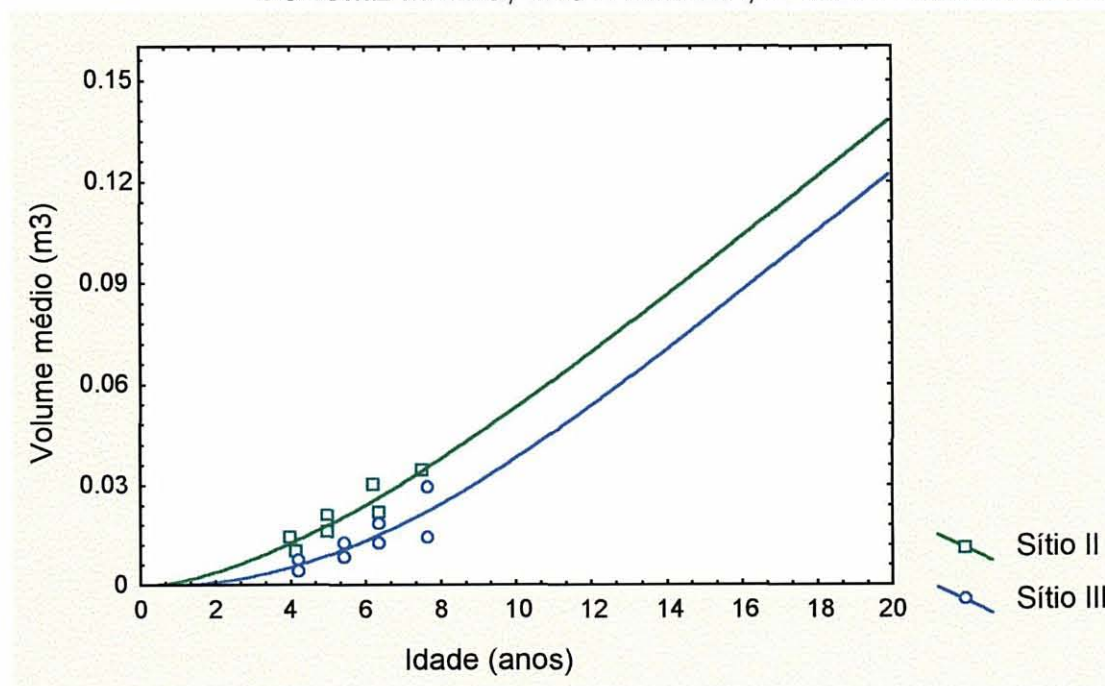


FIGURA 101 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, SÍTIO II, PARC. PERMANENTES

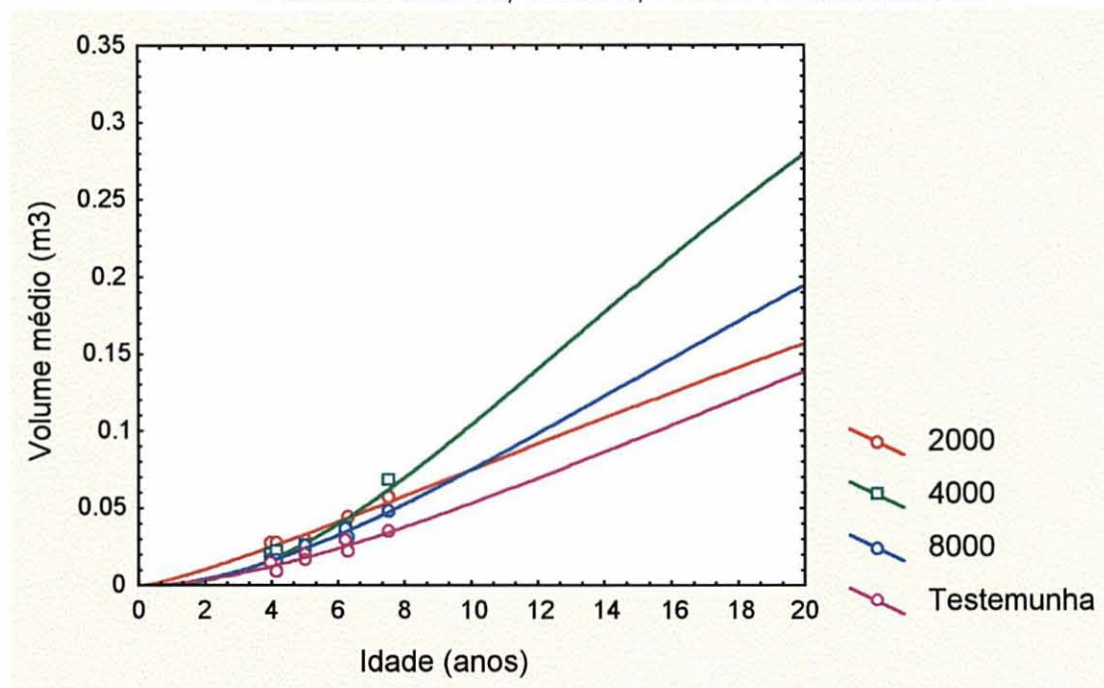
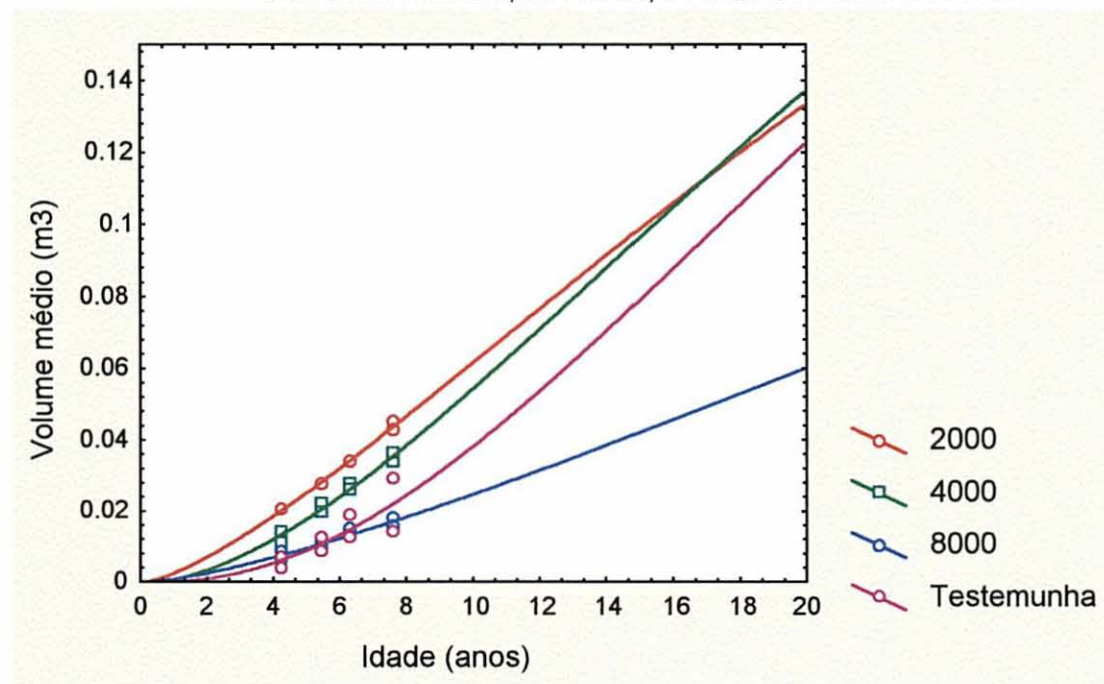


FIGURA 102 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, SÍTIO III, PARC. PERMANENTES



4.2.3.2 Parcelas Temporárias

O mesmo modelo foi ajustado com os dados das parcelas temporárias, resultando nos coeficientes e estatísticas apresentados na tabela 53.

TABELA 53 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO - PARC. TEMPORÁRIAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	0,8151	0,5901	0,3970
k	0,06047	0,08017	0,09055
m	0,5519	0,6765	0,6953
R^2	0,62	0,80	0,72
$R^2_{ajust.}$	0,58	0,79	0,70
$S_{xy}\%$	48,7	42,3	47,7
N	20	72	32

Pode-se notar que os valores de **A** são próximos daqueles obtidos para as parcelas permanentes. Os erros, no entanto, são consideravelmente mais altos, devido à falta de homogeneidade dessas parcelas.

Ajustou-se o modelo novamente, fixando-se **A** nos valores encontrados para as parcelas permanentes. Para o sítio I, o valor de A foi estabelecido em 0,82, valor esse obtido através do ajuste livre para as próprias parcelas temporárias. Os resultados encontram-se na tabela 54.

TABELA 54 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO, COM ASSÍNTOTA FIXA - PARCELAS TEMPORÁRIAS

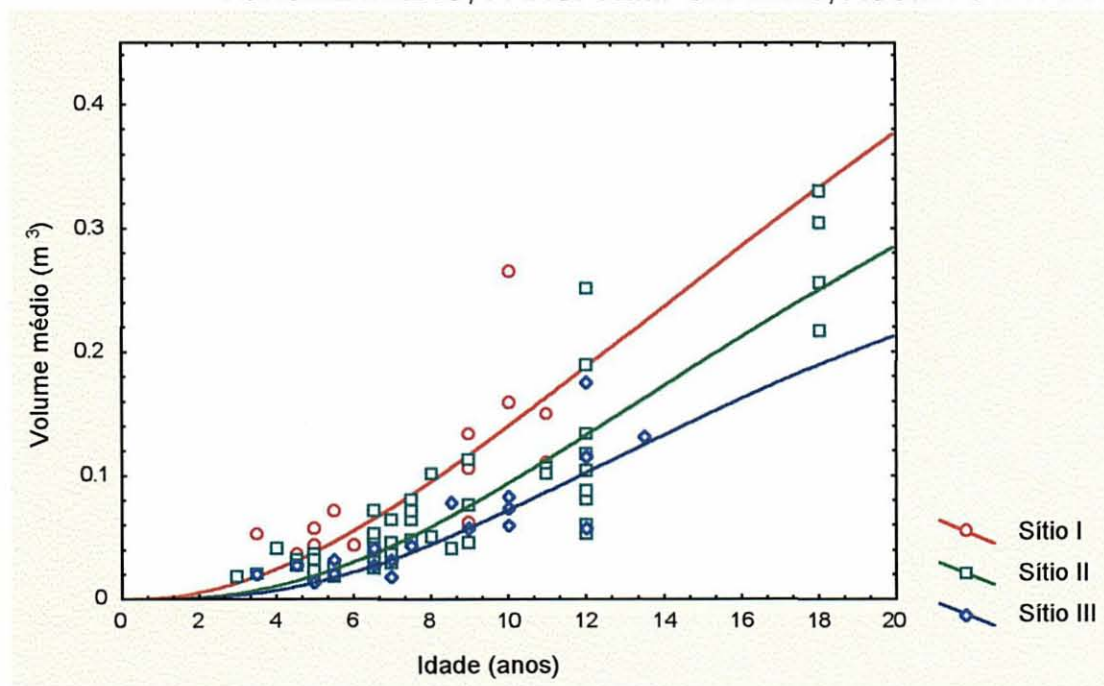
	Classes de sítio		
	I	II	III
A	0,82	0,54	0,35
k	0,06313	0,08442	0,1016
m	0,5697	0,6779	0,7139
R^2	0,62	0,80	0,72
$R^2_{ajust.}$	0,60	0,80	0,71
$S_{xy}\%$	47,3	42,2	47,0
N	20	72	32

Quando comparados aos coeficientes das equações para as parcelas permanentes, tanto k como m são mais altos, mais uma vez mostrando que o fato das variáveis terem sido medidas até mais tarde deve contribuir para a impressão de um crescimento mais rápido.

As diferenças nas equações são muito pequenas, os coeficientes de determinação permaneceram estáveis e os erros diminuíram um pouco, somente como função do aumento dos graus de liberdade do resíduo. Os valores do teste de F-parcial e as probabilidades comprovam que as equações são quase iguais, podendo ser substituídas sem nenhum problema. Para a classe de sítio I, o erro da equação reduzida foi menor que o da completa.

A representação gráfica das equações da tabela 54 pode ser vista na figura 103.

FIGURA 103 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME MÉDIO, PARC. TEMPORÁRIAS, ASSÍNTOTA FIXA



4.2.3.3 Combinação das Parcelas Temporárias e das Testemunhas das Parcelas Permanentes

Para se saber se uma única equação poderia ser usada para estimar volumes médios para as parcelas temporárias e para as testemunhas permanentes, o modelo foi ajustado com todos esses dados. Os resultados encontram-se na tabela 55.

TABELA 55 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO - PARC. TEMPORÁRIAS E PERMANENTES COMBINADAS

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	0,9310	0,5787	0,3872
k	0,03715	0,08567	0,09795
m	0,4000	0,6993	0,7221
R^2	0,63	0,80	0,73
$R^2_{ajust.}$	0,59	0,79	0,72
$S_{xy}\%$	51,4	43,6	50,6
N	22	79	40

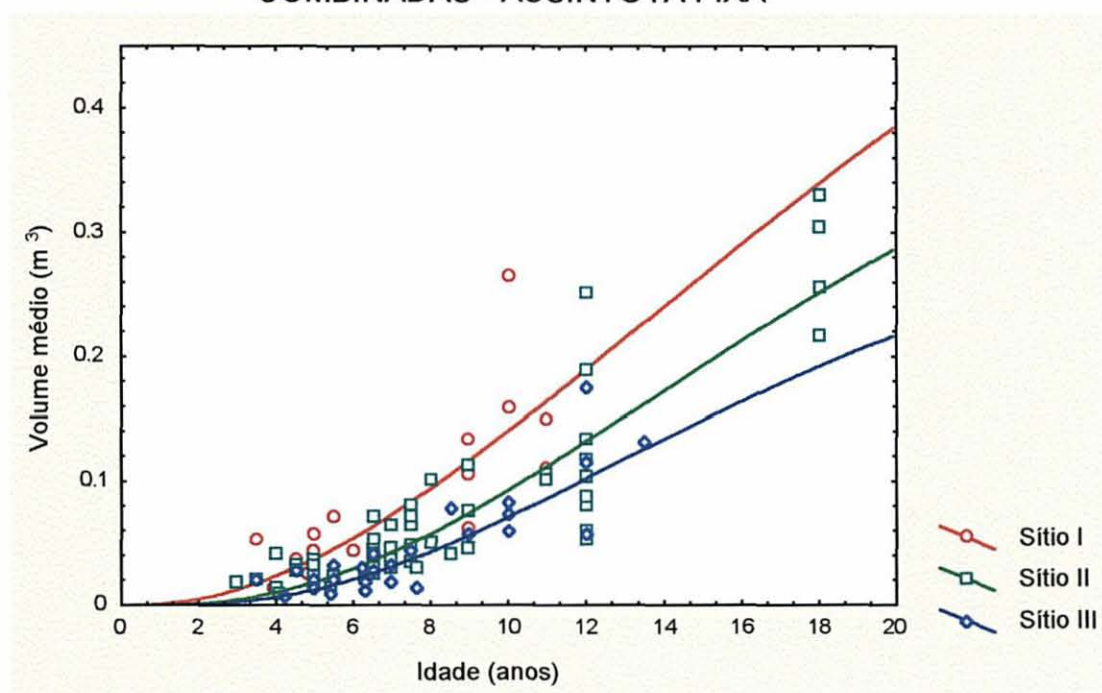
A seguir ajustou-se o mesmo modelo com **A** fixado no valor obtido para as parcelas permanentes. Os resultados desse ajuste podem ser conferidos na tabela 56.

TABELA 56 - AJUSTE DE CHAPMAN-RICHARDS PARA VOLUME MÉDIO - PARC. TEMPORÁRIAS E PERMANENTES COMBINADAS, ASSÍNTOTA FIXA

	Classes de sítio		
	I	II	III
A	0,82	0,54	0,35
k	0,06603	0,08615	0,1066
m	0,5874	0,6873	0,7339
R^2	0,65	0,80	0,73
$R^2_{ajust.}$	0,63	0,80	0,72
$S_{xy}\%$	48,4	43,4	49,9
N	22	79	40

Os erros padrão das estimativas, apesar de bastante altos devido à heterogeneidade dos dados, são mais baixos que os das equações de ajuste livre. Os coeficientes de determinação ajustados aumentaram para os sítios I e II, enquanto que para a classe III ele se manteve constante. A representação gráfica dessas equações podem ser observadas na figura 104.

FIGURA 104 - MODELO DE CHAPMAN-RICHARDS AJUSTADO PARA VOLUME, PARCELAS TEMPORÁRIAS E PERMANENTES COMBINADAS - ASSÍNTOTA FIXA



Os resultados da comparação entre as equações das tabelas 55 e 56, realizada através do teste do F-parcial, mostram que as equações de ajuste livre e de assíntota fixa são estatisticamente iguais.

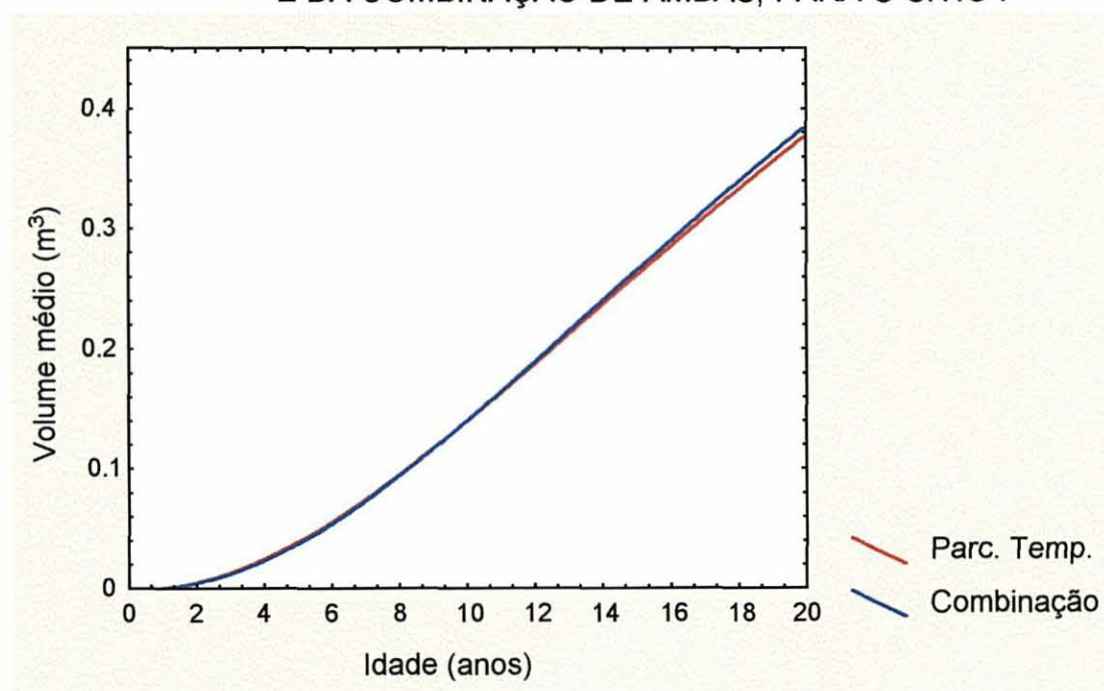
4.2.3.4 Comparação Entre as Equações Para Parcelas Permanentes e Para Parcelas Temporárias e Entre as Equações da Combinação de Dados com Cada Grupo em Separado

A comparação gráfica entre os três grupos de equações (parcelas permanentes testemunhas, parcelas temporárias e combinação de ambas) pode ser verificada nas figuras 105, 106 e 107.

Para a comparação estatística entre as equações e os dados observados, utilizou-se o teste do t-pareado. Foram efetuadas comparações em cada um dos três sítios, utilizando-se as equações de assíntota fixa.

Quando as estimativas das equações das parcelas permanentes foram comparadas às das parcelas temporárias, as probabilidades encontradas para o teste t foi de 0,00 para ambas as situações (classes de sítio II e III). Ou seja, as estimativas são estatisticamente diferentes. Esse teste foi realizado estimando-se volumes às mesmas idades, dentro do domínio dos dados, através das duas equações e comparando-se esses conjuntos de dados.

FIGURA 105 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE VOLUME MÉDIO COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS PERMANENTES TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS, PARA O SÍTIO I



Realizaram-se, então, as comparações entre as equações combinadas e os dois grupos de equações em separado. Tanto para as parcelas permanentes como para as temporárias, não foram detectadas diferenças significativas nas estimativas. Ou seja, a variável volume médio individual é a primeira das analisadas que permite o uso de uma equação única na estimativa dos parâmetros para os dois tipos de parcelas.

Em resumo, embora as equações para parcelas permanentes e temporárias não devam ser intercambiadas, as equações combinadas, de assíntota fixa, podem ser usadas sem problema para qualquer tipo de parcela.

FIGURA 106 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE VOLUME MÉDIO COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS PERMANENTES TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS, PARA O SÍTIO II

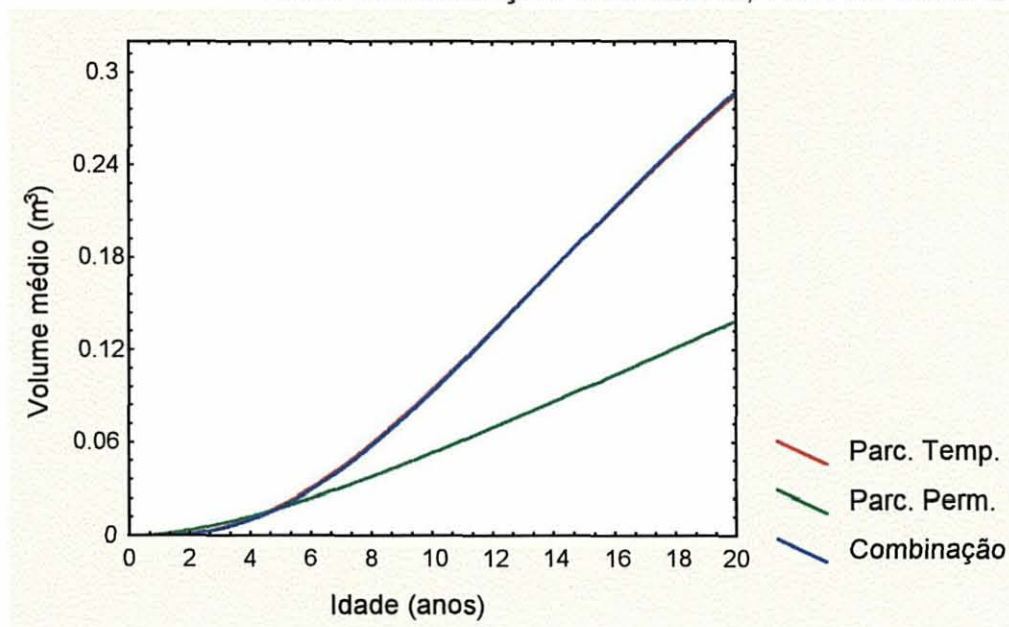
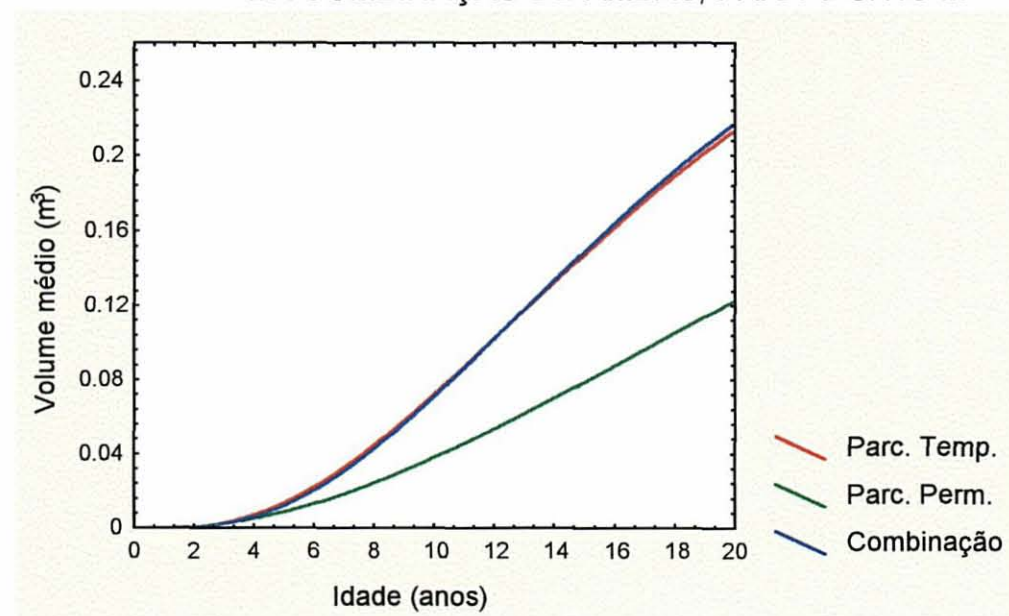


FIGURA 107 - COMPARAÇÃO ENTRE AS EQUAÇÕES DE VOLUME MÉDIO COM ASSÍNTOTA FIXA DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS, DAS PERMANENTES TESTEMUNHAS E DA COMBINAÇÃO DE AMBAS, PARA O SÍTIO III



4.2.4 VOLUME POR HECTARE (V) E ÁREA BASAL (G)

O volume/ha e a área basal/ha, que são variáveis obtidas por unidade de área, foram agrupadas por apresentarem comportamento diverso aos das demais e parecidos entre si.

Diferentemente das variáveis anteriores, todas individuais, a evolução de V e G, com o passar do tempo, não apresentou um padrão muito claro. Isso provavelmente ocorreu devido à alta e heterogênea mortalidade da bracatinga. Esse comportamento irregular pode ser conferido nas figuras 108 a 118 para a variável V e 119 a 129, para G.

FIGURA 108 - V/ha X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

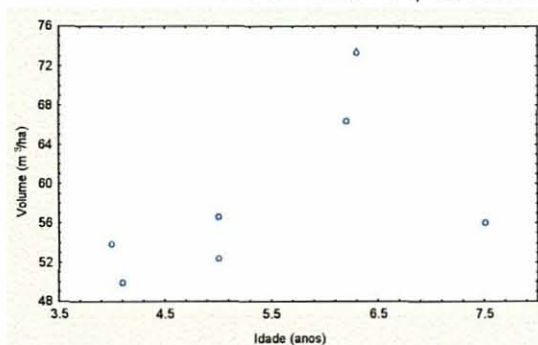


FIGURA 109 - V/ha X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

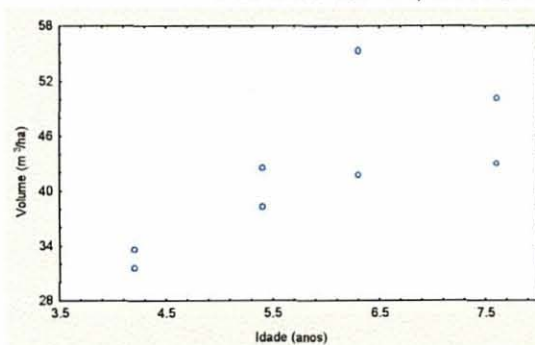


FIGURA 110 - V/ha X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

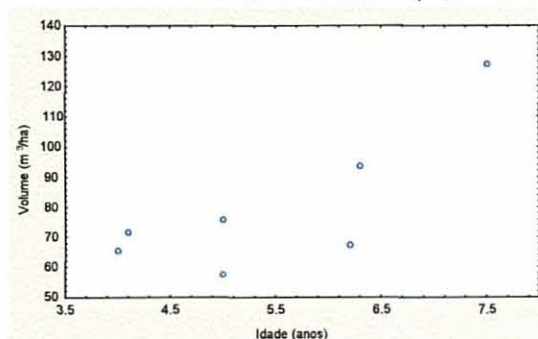


FIGURA 111 - V/ha X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

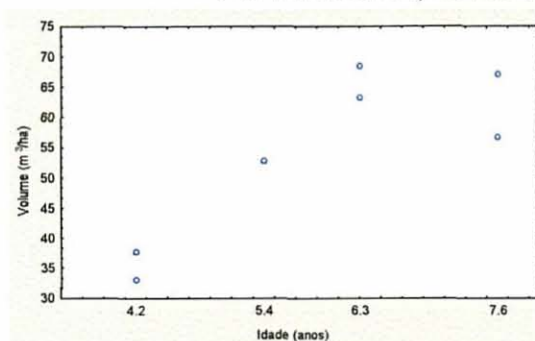


FIGURA 112 - V/ha X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

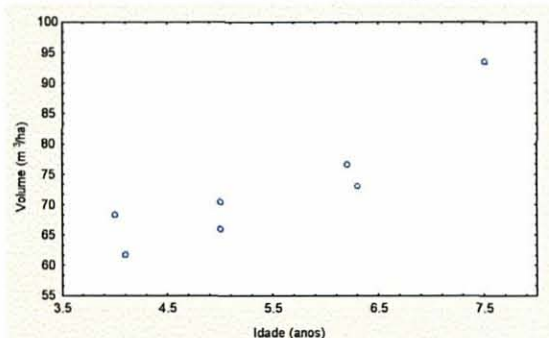


FIGURA 113 - V/ha X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

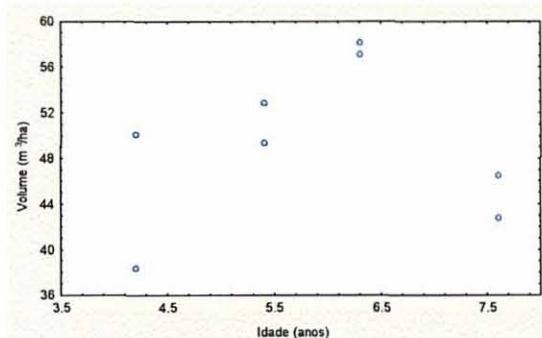


FIGURA 114 - V/ha X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO II

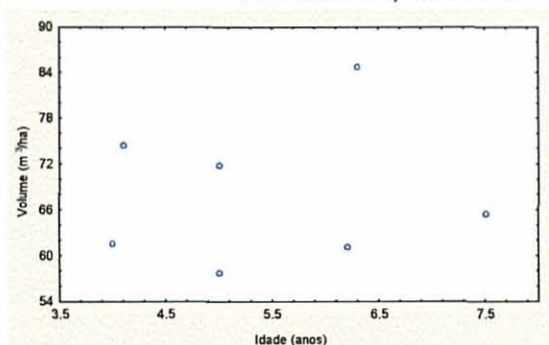


FIGURA 115 - V/ha X IDADE, TESTEMUNHA, SÍTIO III

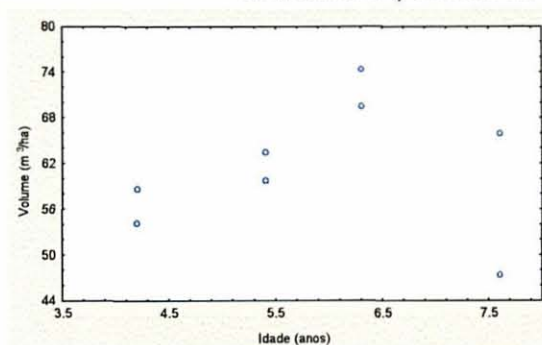


FIGURA 116 - V/ha X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO I

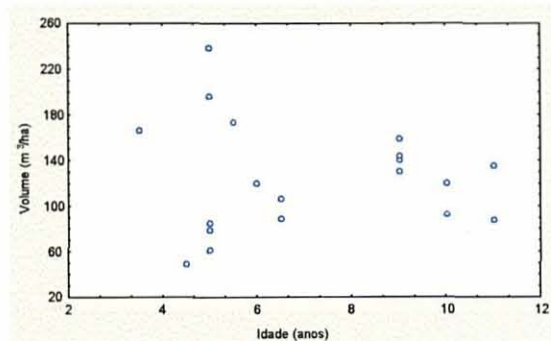


FIGURA 117 - V/ha X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO II

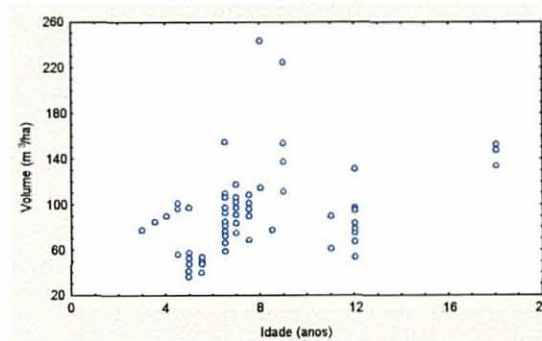


FIGURA 118 - V/ha X IDADE, PARC. TEMP., SÍTIO III

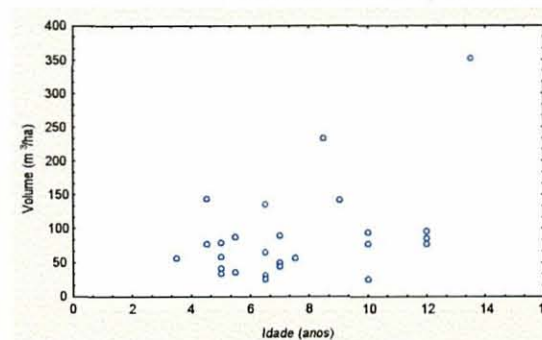


FIGURA 119 - G X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

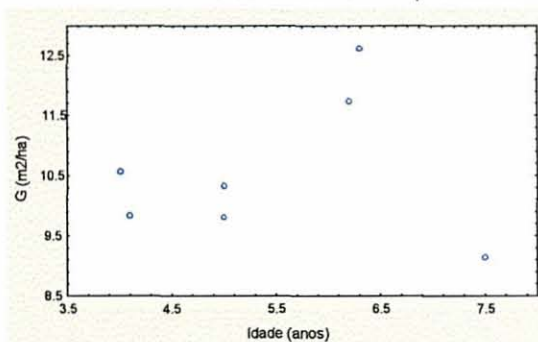


FIGURA 120 - G X IDADE, 2 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

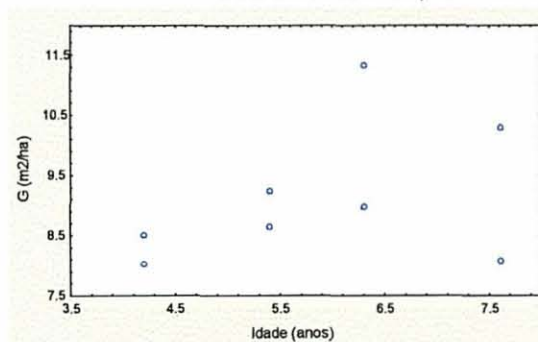


FIGURA 121 - G X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

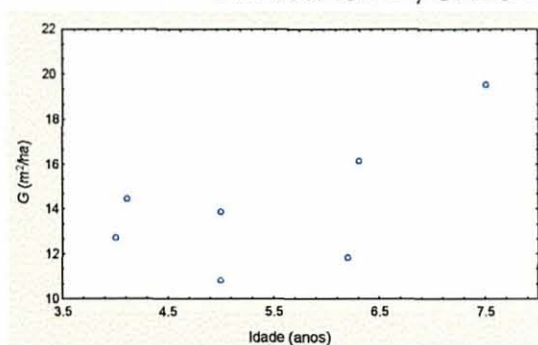


FIGURA 122 - G X IDADE, 4 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

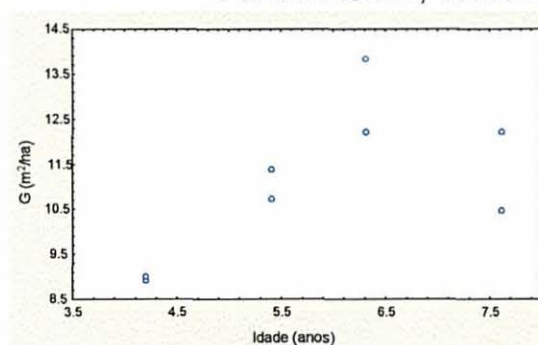


FIGURA 123 - G X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO II

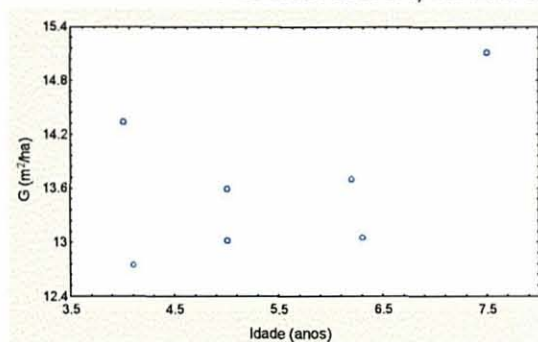


FIGURA 124 - G X IDADE, 8 MIL PLANTAS/HA, SÍTIO III

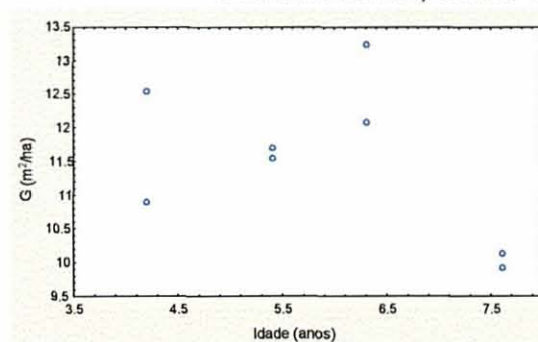


FIGURA 125 - G X IDADE, TESTE-MUNHA, SÍTIO II

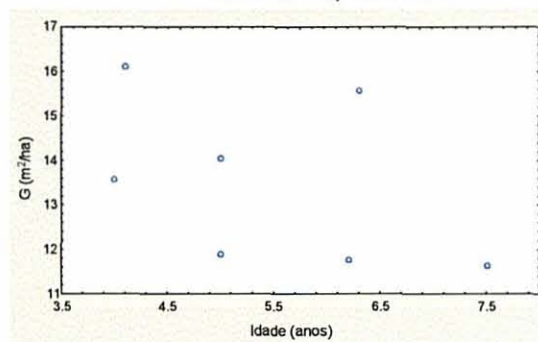


FIGURA 126 - G X IDADE, TESTE-MUNHA, SÍTIO III

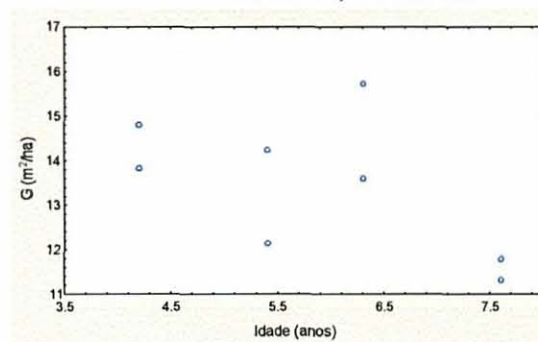


FIGURA 127 - G X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO I

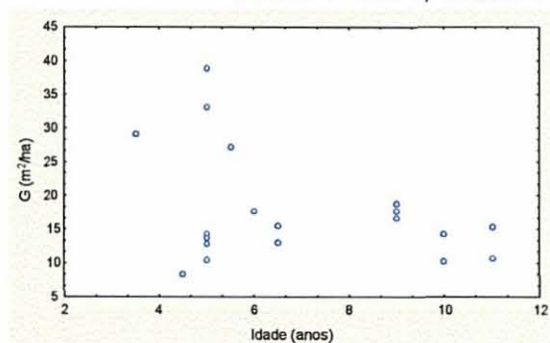


FIGURA 128 - G X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO II

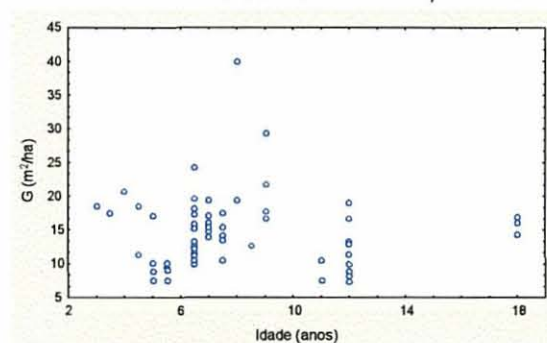
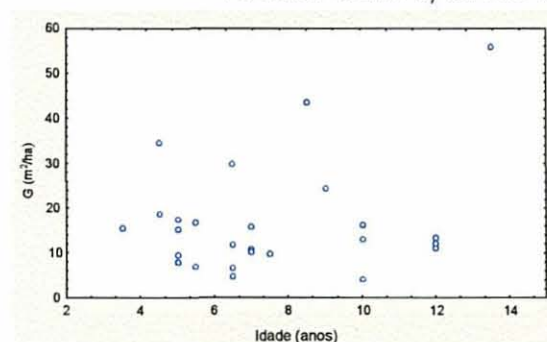


FIGURA 129 - G X IDADE,
PARC. TEMP., SÍTIO III



A visualização dos gráficos das figuras 108 a 129 leva à conclusão que as produções das variáveis volume/ha e área basal não podem ser modeladas a contento. Sugere-se que, futuramente, sejam agregados dados de mais parcelas por classe de sítio, de modo a possibilitar essa modelagem.

O que se pode concluir a respeito dessas variáveis em função do tempo, sem a ferramenta da modelagem, é o que se pôde ver nos gráficos médios de V e G em função de idade e de tratamento ou bloco, na primeira parte dos resultados. Ou seja, de um modo geral, as produções aumentaram até a idade de aproximadamente 6,3 anos e passaram a cair a partir daí.

Quanto às parcelas temporárias, devido à grande heterogeneidade inicial, não é possível nem fazer inferências desse tipo.

Comparando-se esses resultados com outros trabalhos já realizados em bracatingais, percebe-se que esse comportamento irregular das variáveis por unidade de área parece ser comum. A mortalidade, em taxas altas e inconstantes, deve ser a causa desse padrão.

4.2.4.1 Testemunha

CAMPOS et al. (1986) determinaram o volume médio/ha, a densidade de plantas e a participação do sub-bosque, para dez bracatingais de manejo tradicional, entre um e dez anos de idade. Foram estabelecidas, no município de Colombo-PR, quatro parcelas de 25 m² do primeiro ao quarto ano e de 100 m² a partir do quinto. A produção média de volume/ha cresceu até o sétimo ano, quando atingiu 135,8 m³/ha, e passou a diminuir a partir de então.

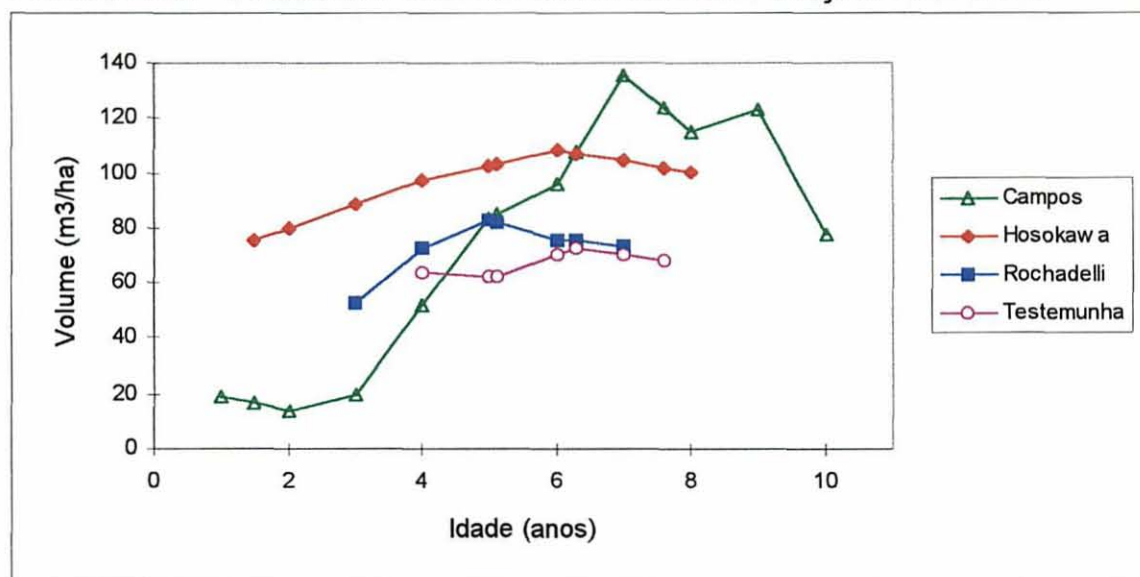
HOSOKAWA e colaboradores (1981), a partir de dados de 3 parcelas de 400 m² para cada um de quatro povoamentos em idades diferentes (um ano e meio, quatro, seis e oito anos), obtiveram resultados parecidos. A produção volumétrica aumentou até um valor de 108,18 m³/ha aos seis anos de idade. Não houve medição aos sete, e aos oito anos o volume havia diminuído, ou seja, a produção começou a cair em algum momento durante esse intervalo de dois anos.

ROCHADELLI (1997) avaliou povoamentos de três, quatro, cinco, seis e sete anos de idade, no município de Bocaiúva do Sul. O autor coletou dados de quatro parcelas de cada idade, sendo todos os povoamentos de regeneração natural e com características de média produtividade. Foi realizado um sortimento da madeira disponível, dividindo-a em lenha, peças para escora e para serraria, de modo a maximizar a renda bruta. Somando-se todos os volumes para diferentes fins, a produção máxima foi atingida aos 5 anos de idade, e a partir daí começou a cair.

A comparação dos trabalhos citados com esta pesquisa deve ser feita com a testemunha, uma vez que se trata de análises de bracatingais do sistema tradicional.

A evolução da produção volumétrica segundo os três trabalhos, em confronto com a média das parcelas testemunhas do presente, pode ser verificada na figura 130.

FIGURA 130 - VOLUME/HA DE BRACATINGA EM FUNÇÃO DA IDADE



Fonte: elaborado utilizando-se os dados de CAMPOS et al. (1986), HOSOKAWA et al. (1981) e ROCHADELLI (1997)

Pode-se perceber que essas linhas dificilmente poderiam ser ajustadas a um modelo biológico, assim como os resultados obtidos nesse trabalho.

Note-se que a tendência das curvas é a mesma, ou seja, crescimento até os 5-7 anos, e queda da produção a partir desse ponto. As diferenças entre as curvas, especialmente no início, pode ser creditada a diversos fatores. O mais importante deve ser a densidade (número de árvores) inicial, que não foi contabilizada para o trabalho de HOSOKAWA. Além disso, podem-se citar outras possíveis causas: metodologias de medição distintas (no trabalho de CAMPOS todas as árvores foram cubadas, enquanto que no de HOSOKAWA houve medição direta da área basal e uso de equações hipsométricas, e no de

ROCHADELLI foram ajustadas equações próprias), qualidade de sítio, formas de manejo e condições climáticas.

A curva média das testemunhas do presente trabalho mostra a mesma tendência, com a culminação do volume sendo atingida aos 6,3 anos e a um valor menor ($67,8 \text{ m}^3/\text{ha}$) do que os demais. O decréscimo de $1 \text{ m}^3/\text{ha}$ ocorrido entre o quarto e o quinto anos não parece ter sido significativo.

Essa diferença no valor da produção máxima, que corresponde à exatamente a metade daquele obtido por CAMPOS et al., poderia ser atribuída aos mesmos fatores aos quais se atribuíram as diferenças entre as duas curvas da figura 130. Comparou-se, então, o número de árvores desse trabalho com o de CAMPOS e de ROCHADELLI. Quando comparado com o primeiro, verificou-se que N era quase igual nas diferentes idades (a partir dos 4 anos). Investigaram-se então outras causas e descobriu-se que a diferença na produção volumétrica foi causada por um crescimento significativamente maior das árvores avaliadas por CAMPOS et al. (1986). A diferença desse crescimento individual é que deve ter sido provocada por diferenças de sítio, manejo, medição, clima e das densidades iniciais.

As figuras 131 e 132 mostram as diferenças entre os resultados do presente trabalho e os do trabalho de CAMPOS e colaboradores, para as variáveis individuais DAP e h.

FIGURA 131 - DAP x IDADE

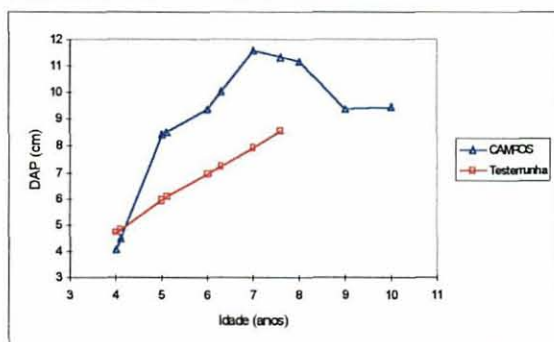
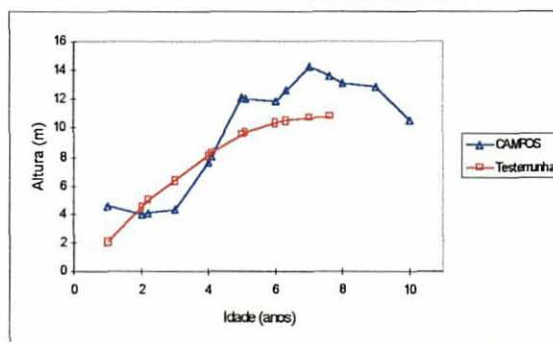


FIGURA 132 - ALTURA x IDADE



Nas figuras 131 e 132 pode-se observar a superioridade dos valores de DAP, principalmente, do trabalho de CAMPOS sobre os do presente trabalho, especialmente após a idade de 5 anos. Outra característica interessante daquele trabalho é que, após atingir um ápice aos 7 anos, o DAP médio começa a decrescer, em vez de estabilizar. Para a altura, a tendência parece ser a mesma. Nesse trabalho, no entanto, a altura estabiliza como se espera de variáveis biológicas e o DAP ainda não parou de crescer, não permitindo que se saiba o que aconteceria nos próximos anos.

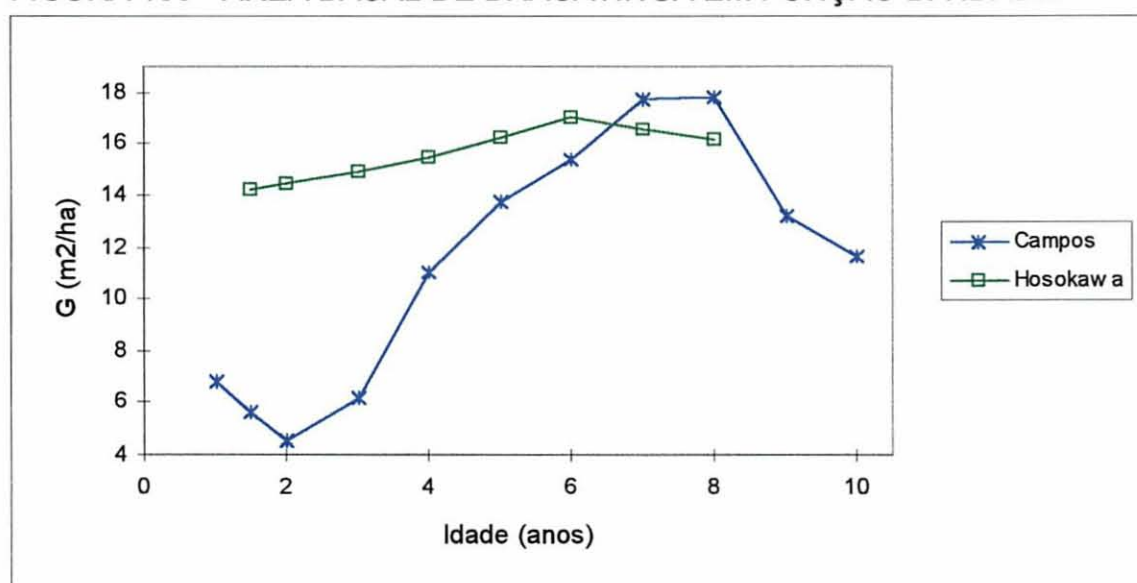
Quando a comparação foi feita com os resultados de ROCHADELLI, percebeu-se que a diferença na produção volumétrica é função direta do número de árvores/ha. Aos quatro anos, a diferença volumétrica é de aproximadamente 8,9 m³/ha, sendo que naquele trabalho haviam 9500 árvores/ha, enquanto que nesse haviam 7489. Aos cinco anos a diferença se amplia, com a produção atingindo seu ápice no trabalho de ROCHADELLI e diminuindo um pouco nesse. Os números de árvores/ha são de, respectivamente, 6300 e 4345. A partir dos seis anos de idade, a diferença passou a diminuir, principalmente devido ao fato que a mortalidade naquele trabalho passou a ser maior do que nesse. A densidade aos sete anos para ROCHADELLI era de 1600 árvores/ha, enquanto que aos 7,6 anos as parcelas do presente trabalho ainda tinham uma média de 2084.

Na figura 30, no item 4.1.4.1, pode-se observar que o comportamento dos tratamentos 1 e 3 segue o mesmo padrão da testemunha. Somente o tratamento 2 (densidade inicial de 4 mil plantas/ha), cuja produção continua crescendo, apresenta tendência diferente.

Outro dado interessante detectado por CAMPOS et al. (1986) é que, apesar de novas espécies passarem a fazer parte do sub-bosque, principalmente a partir dos cinco anos de idade, o volume total por unidade de área ainda cai após os sete anos. Ou seja, as árvores de outras espécies, até os 10 anos, não conseguem substituir o volume perdido pela mortalidade das bracatingas.

Nos mesmos trabalhos, CAMPOS et al. (1986) e HOSOKAWA et al. (1981) determinaram também a área basal às diferentes idades. O comportamento dessa variável é o mesmo do volume, com a única diferença que para o primeiro trabalho o valor máximo foi atingido aos 8, e não aos 7, anos de idade. Essa evolução aconteceu conforme representação na figura 133.

FIGURA 133 - ÁREA BASAL DE BRACATINGA EM FUNÇÃO DA IDADE



Fonte: elaborado a partir dos dados de CAMPOS et al. (1986) e de HOSOKAWA et al. (1981)

A figura 133 é mais um exemplo de que as variáveis por unidade de área para bracatinga são realmente irregulares e de difícil modelagem.

CARPANEZZI (1994) obteve resultados diferentes. A autora estabeleceu, em Bocaiúva do Sul, um experimento com cinco tratamentos de bracatinga, que variavam a densidade inicial, a presença ou não de cultura agrícola nos primeiros anos e a realização ou não de adubação e/ou capinas. Foram realizadas medições de altura e DAP até a idade de 29 meses. A partir daí, foi utilizada uma equação que estima o volume futuro em função do volume atual, desenvolvida a partir dos dados de volume de diversos povoamentos. Para nenhum dos tratamentos, até os 7 anos de idade, aconteceu estabilização ou queda da produção volumétrica. Essas conclusões, no entanto, podem não ser necessariamente indicativas do comportamento do

povoamento, mas devidas às próprias características das equações volumétricas, que impedem uma diminuição dos valores de volume. Para o tratamento que foi denominado SFT, ou sistema florestal tradicional, e que consistia na população total de bracatingas, sem adubação nem capinas, o volume aos sete anos de idade foi estimado em 47,24 m³/ha.

No município de Colombo, CARVALHO (1981b) implantou cinco parcelas de 400 m² em bracatingais maduros, com os objetivos de avaliar o crescimento e produção de madeira de bracatingais, bem como a composição florística de suas matas. As bracatingas foram medidas durante três anos consecutivos e no terceiro ano derrubadas, para ter sua idade determinada através da contagem dos anéis de crescimento.

Sua conclusão, no entanto, foi bastante diferente das descritas até aqui: o declínio do crescimento em área basal e em volume começou a ocorrer apenas a partir dos doze anos de idade.

Esse resultado parece ser ratificado por um inventário realizado pela COPEL (1985, citado por EMBRAPA, 1988) no sudeste do Paraná (14 municípios próximos a Curitiba). Foram medidas 40 unidades amostrais de 100 m², sendo 15 na classe de idade de 3 a 5 anos, 15 na classe de 5 a 8 e 10 parcelas na classe de 8 a 11 anos. A produção volumétrica média obtida foi de 51,90 m³/ha para a primeira classe, 80,32 para a segunda e 142,46 m³/ha para a classe de idade de 8 a 11. Os incrementos médios anuais, utilizando-se o centro de classe para a cálculo, foram de, respectivamente, 12,97; 12,35; e 14,99 m³.ha⁻¹.ano⁻¹. Ou seja, o volume por unidade de área ainda estava em plena fase de crescimento.

4.2.4.2 Demais tratamentos

ARAÚJO (1943), citado por LISBÃO JR. (1981), analisando um plantio de bracatinga com espaçamento inicial de 2 x 2 m (2500 plantas/ha), estabelecido em Viçosa, MG, observou queda acentuada de produção

volumétrica após os seis anos. Convém observar que Viçosa se encontra fora da região climática ideal para o cultivo da bracatinga, estando os povoamentos nessa região, portanto, teoricamente mais sujeitos à mortalidade antecipada. De qualquer forma, aos seis anos de idade, a produção obtida no experimento foi de 205 st/ha. CARPANEZZI et al. (1988) recomendaram o uso de um fator de empilhamento de 1,75, para lenha produzida em povoamentos do sistema tradicional, de 6 a 8 anos de idade. Embora o povoamento em questão não seja tradicional, utilizando-se o mesmo valor, chega-se a um volume de 117,1 m³/ha.

LISBÃO JR. (1981) afirmou que, para duas parcelas da Klabin com a mesma densidade de 2500 plantas/ha (espaçamento 2 x 2 m), o máximo incremento médio anual em volume (aproximadamente 13,9 m³.ha⁻¹.ano⁻¹) foi atingido aos cinco anos e meio. A produção, no entanto, continuou crescendo até os 7 anos de idade, quando atingiu aproximadamente 90 m³/ha (com um IMA de quase 13 m³.ha⁻¹.ano⁻¹). Após esse ponto, a produção passou a diminuir.

Um dos tratamentos implantados no trabalho de CARPANEZZI (1994) foi o sistema florestal melhorado 2 (SFM2), que consistiu em reduzir a densidade inicial de bracatinga para 3333 plantas/ha aproximadamente 4 meses após a queima. Não houve cultivo agrícola nem adubação, mas duas capinas foram efetuadas. Não houve estagnação nem decréscimo da produção volumétrica, e aos sete anos de idade o valor estimado foi de 57,73 m³/ha. Convém lembrar, no entanto, o que já foi explicado sobre essas estimativas: as equações não permitem a diminuição do volume por unidade de área.

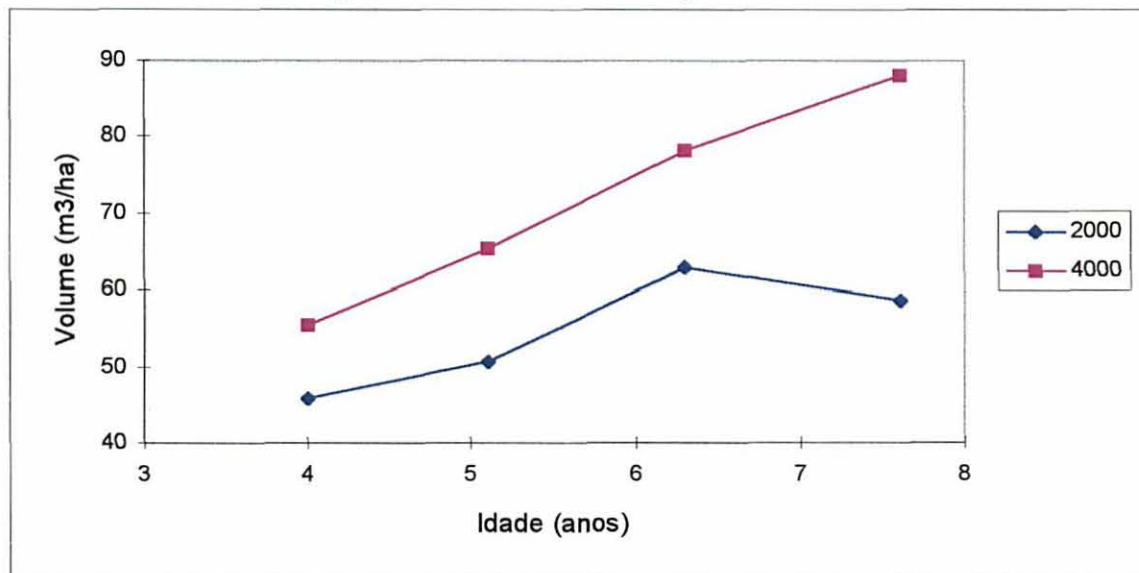
Esses resultados são comparáveis aos tratamentos 1 e 2 (2 mil e 4 mil plantas/ha) do experimento de densidades. A figura 134 foi extraída da figura 30, e mostra apenas os dois tratamentos citados.

Os dois primeiros trabalhos citados (ARAÚJO, 1943, citado por LISBÃO JR., 1981, e LISBÃO JR., 1981) apontaram queda da produção volumétrica entre os seis e os sete anos de idade. Esses resultados coincidem com o

obtido para o tratamento 1 (2 mil plantas/ha), embora o valor máximo alcançado ($62,9 \text{ m}^3/\text{ha}$) seja bem menor. Os motivos que poderiam causar essa diferença de valor já foram citados, mas deve tratar-se principalmente de uma questão de qualidade de sítio.

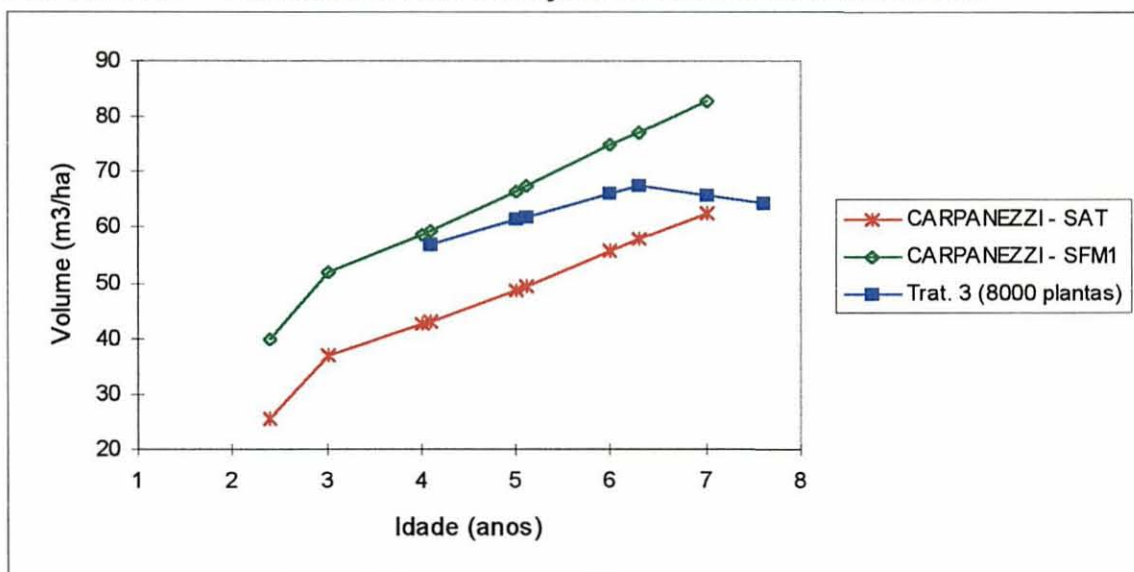
Já o tratamento 2 (4 mil plantas/ha) ainda não mostrou sinais de queda da produção, discordando dos resultados desses dois trabalhos, mas concordando com o de CARPANEZZI (1994).

FIGURA 134 - EVOLUÇÃO DO V/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL



Outros dois tratamentos do trabalho de CARPANEZZI (1994) podem ser comparados ao outro tratamento do presente trabalho: o SAT e o SFM1. O tratamento SAT (sistema agroflorestal tradicional) teve a densidade do bracatingal reduzida para 8681 plantas/ha e cultivo de milho e feijão no primeiro ano. As culturas agrícolas não foram adubadas e foram realizadas duas capinas. Já o tratamento SFM1 (sistema florestal melhorado 1) consistiu no desbaste do povoamento para 9653 plantas/ha, sem adubação e com duas capinas. A figura 135 permite a comparação entre esses dois tratamentos e o tratamento 3 (8 mil plantas/ha) do presente trabalho.

FIGURA 135 - VOLUME/HA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL



O nível de produção do tratamento 3 ficou exatamente entre os dois tratamentos a que está sendo comparado, o que é um bom sinal. A diferença entre as curvas é que as do experimento de CARPANEZZI (1994), não atingem um pico e passam a diminuir, devido, como já foi explicado, ao uso das equações para a estimativa. As “quebras” nas duas curvas de CARPANEZZI também aconteceram devido às equações, o que fica evidente pela sua localização: exatamente entre o dado observado e a primeira estimativa.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1 EFEITOS DA DENSIDADE INICIAL

- Menores densidades iniciais geraram aumento significativo nas variáveis DAP, volume e área transversal médios, em todas as idades.
- O tratamento 2 (4 mil plantas/ha) apresentou os maiores valores de altura média, a partir dos cinco anos. Com exceção desse tratamento, a relação entre a produção dessa variável e a densidade inicial foi inversamente proporcional. A altura dominante não foi influenciada pela densidade inicial.
- Para produção volumétrica e em área basal o maior valor também foi gerado pelo tratamento 2 (4 mil plantas/ha), nas últimas medições. Excluindo esse tratamento, a produção foi diretamente proporcional à densidade inicial.
- A mortalidade inicial foi maior, em termos relativos e absolutos, quanto maior a densidade inicial. Após os cinco anos, as parcelas de menor densidade inicial passaram a apresentar maior mortalidade relativa.
- Quatro mil plantas/ha é, portanto, a densidade inicial sugerida para novos povoamentos, entre as quatro testadas nesse estudo.

5.2 EFEITOS DO SÍTIO

- Sítios melhores favoreceram significativamente as variáveis DAP, volume e altura médios e altura dominante, em todas as idades.

- Os sítios não influenciaram a área basal/ha, em nenhuma idade de medição. O volume/ha, por sua vez, sofreu influência dos sítios até a idade de 6,3 anos.
- Não se percebeu influência da qualidade de sítio sobre a sobrevivência.
- As diferenças geradas por diferentes densidades iniciais foram mais expressivas para o sítio de qualidade mais baixa, ou seja, quanto pior o sítio, mais importante foi o desbaste na produção em DAP e volume médios e em volume/ha.

5.3 MODELAGEM DAS VARIÁVEIS

- O modelo de Chapman-Richards ajustou-se bem aos dados de DAP, altura e volume em função da idade. O pequeno número de dados para cada combinação de tratamento e sítio, no entanto, requer que as equações sejam usadas com cautela na estimativa dessas variáveis.
- Das equações ajustadas com os dados da combinação das parcelas temporárias e das permanentes testemunhas, somente a da variável volume médio individual pôde ser utilizada na estimativa de valores para ambos os tipos de parcelas.
- A evolução temporal das variáveis área basal e volume por hectare não apresentou um padrão claro, impossibilitando a sua modelagem.
- A produção volumétrica por unidade de área (assim como em área basal) atingiu um valor máximo na idade de 6,3 anos e diminuiu em seguida.

5.4 RECOMENDAÇÕES

Para melhorar e confirmar os resultados desse estudo, recomenda-se que novos experimentos de densidades sejam estabelecidos e que:

- sejam medidos até a idade de dez anos, uma vez que a queda de produção foi determinada por uma única observação, aos 7,6 anos de idade;
- a qualidade dos sítios seja determinada antes da instalação do experimento, de modo que os blocos sejam alocados uniformemente em todas as classes;
- novos dados experimentais sejam agregados aos deste trabalho, para melhorar as equações desenvolvidas.

ANEXO 1 - DADOS METEOROLÓGICOS

DADOS DE PRECIPITAÇÃO E TEMPERATURA MENSAIS MÉDIAS PARA A ESTAÇÃO METEOROLÓGICA DE PIRAQUARA

Fonte: SIMEPAR - Sistema Meteorológico do Paraná

TABELA 57 - TOTAIS MENSAIS DE PRECIPITAÇÃO (mm) DE 1984 A 1991

Totais mensais de precipitação (mm)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Total anual
1984	148,9	54,9	174,0	173,9	91,5	108,8	46,9	171,7	110,1	38,9	218,5	120,8	1458,9
1985	86,4	239,9	94,9	68,1	13,9	43,8	20,4	6,9	139,0	101,6	49,0	72,2	936,1
1986	264,4	114,9	108,9	132,3	76,8	12,8	44,0	107,4	67,0	109,0	240,6	250,0	1528,1
1987	101,0	133,7	40,7	146,8	284,9	112,0	40,7	49,3	98,1	100,5	53,8	113,5	1275,0
1988	144,6	188,0	147,5	114,2	284,9	97,7	15,4	1,6	83,4	110,0	17,7	104,3	1309,3
1989	236,9	142,9	100,7	141,3	105,7	52,8	133,9	33,9	157,6	69,1	42,8	222,0	1439,6
1990	293,4	100,3	173,7	119,4	81,1	112,3	232,2	133,2	122,2	132,3	206,1	63,6	1769,8
1991	122,4	111,7	189,7	38,2	44,3	133,2	2,0	71,2	35,0	162,8	62,2	162,2	1134,9
Média	174,8	135,8	128,8	116,8	122,9	84,2	67,0	71,9	101,6	103,0	111,3	138,6	1356,5

TABELA 58 - TEMPERATURAS MÉDIAS MENSAIS (°C) DE 1984 A 1991

Temperaturas médias mensais (°C)													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	Média anual
1984	21,7	22,0	19,0	16,0	16,5	14,0	13,4	12,0	14,0	17,0	17,4	18,0	16,8
1985	18,7	21,0	19,9	18,0	14,1	13,0	12,4	15,0	14,7	17,0	18,3	20,0	16,8
1986	21,1	20,0	19,4	18,0	16,0	13,0	12,6	14,0	14,5	16,0	18,8	20,0	17,0
1987	21,4	20,0	18,8	19,0	13,2	12,0	15,5	13,0	13,8	16,0	18,2	20,0	16,7
1988	21,8	19,0	20,1	17,0	13,6	15,0	11,0	14,0	15,8	16,0	17,2	19,0	16,6
1989	20,0	20,0	19,2	18,0	13,9	13,0	11,2	13,0	14,0	15,0	17,4	19,0	16,1
1990		21,0	20,5	19,0	13,7	13,0	11,1	12,0	13,5	18,0	19,7	19,0	16,4
1991	19,3	19,0	18,8	17,0	15,2	14,0	12,5	14,0	14,7	17,0	18,7	20,0	16,7
Média	20,6	20,3	19,5	17,8	14,5	13,4	12,5	13,4	14,4	16,5	18,2	19,4	16,6

ANEXO 2 - PARCELAS PERMANENTES

TABELA 59 - DADOS DE MENSURAÇÃO DAS PARCELAS PERMANENTES

	Trat.	Prop.	Idade	N	Volume/ha	G/ha	DAP médio	h média	Vol médio	g média	dg	Hdom
MED1	T1	AT	1,0	2000				4,64				
	T2	AT	1,0	4000				4,51				
	T3	AT	1,0	8000				4,60				
	T4	AT	1,0	33846				3,24				
	T1	BDR	1,0	2000				2,21				
	T2	BDR	1,0	4000				1,61				
	T3	BDR	1,0	8000				1,93				
	T4	BDR	1,0	26154				1,58				
	T1	BS	1,0	2000				4,22				
	T2	BS	1,0	4000				3,67				
	T3	BS	1,0	8000				2,77				
	T4	BS	1,0	11477				2,24				
	T1	ADR	1,0	2000				2,48				
	T2	ADR	1,0	4000				2,32				
	T3	ADR	1,0	7938				2,15				
	T4	ADR	1,0	29846				1,43				
	T1	CC	1,0	2000				3,98				
	T2	CC	1,0	4000				3,08				
	T3	CC	1,0	8000				2,13				
	T4	CC	1,0	24431				1,67				
MED2	T1	AT	2,0	1600				7,06				
	T2	AT	2,0	3015				6,77				
	T3	AT	2,0	6246				6,54				
	T4	AT	2,0	12062				6,20				
	T1	BDR	2,2	1785				4,19				
	T2	BDR	2,2	3600				3,29				
	T3	BDR	2,2	7108				4,09				
	T4	BDR	2,2	23077				3,57				

	Trat.	Prop.	Idade	N	Volume/ha	G/ha	DAP médio	h média	Vol médio	g média	dg	Hdom
MED2	T1	BS	2,2	1969				7,28				
	T2	BS	2,2	4000				6,93				
	T3	BS	2,2	6831				6,07				
	T4	BS	2,2	7108				5,96				
	T1	ADR	2,2	1662				4,60				
	T2	ADR	2,2	3231				4,57				
	T3	ADR	2,2	6708				4,74				
	T4	ADR	2,2	19815				4,04				
	T1	CC	2,2	1877				6,53				
	T2	CC	2,2	3662				6,59				
	T3	CC	2,2	6892				5,62				
	T4	CC	2,2	13631				5,18				
MED3	T1	AT	3,9	1477	60,97	10,70	9,3	11,12	0,041281	0,007247	9,6	11,80
	T2	AT	3,9	2431	69,60	11,60	7,5	11,58	0,028635	0,004773	7,8	12,70
	T3	AT	3,9	3200	65,41	11,51	6,5	10,68	0,020440	0,003598	6,8	12,75
	T4	AT	3,9	5077	68,81	12,58	5,3	9,74	0,013553	0,002478	5,6	12,73
	T1	BDR	4,2	1569	31,58	8,02	7,9	7,82	0,020124	0,005108	8,1	7,82
	T2	BDR	4,2	3046	32,98	9,02	5,8	7,00	0,010828	0,002962	6,1	7,17
	T3	BDR	4,2	6185	38,44	10,90	4,5	6,78	0,006216	0,001763	4,7	7,40
	T4	BDR	4,2	12984	54,13	14,81	3,6	6,76	0,004262	0,001157	3,8	8,34
	T1	BS	4,0	1938	53,82	10,57	8,2	10,16	0,027765	0,005453	8,3	11,07
	T2	BS	4,0	3108	65,44	12,74	6,9	9,71	0,021059	0,004100	7,2	11,57
	T3	BS	4,0	3877	68,30	14,34	6,5	8,95	0,017616	0,003698	6,9	10,46
	T4	BS	4,0	4185	61,47	13,59	6,0	8,46	0,014688	0,003246	6,4	10,20
	T1	ADR	4,2	1600	33,60	8,51	8,1	7,81	0,021003	0,005317	8,2	9,39
	T2	ADR	4,2	2646	37,74	8,90	6,4	8,26	0,014262	0,003365	6,5	8,89
	T3	ADR	4,2	5569	50,16	12,55	5,1	7,76	0,009006	0,002253	5,4	9,12
	T4	ADR	4,2	7908	58,58	13,84	4,4	7,94	0,007408	0,001750	4,7	9,14
	T1	CC	4,1	1785	49,88	9,83	8,1	10,06	0,027950	0,005510	8,4	10,28
	T2	CC	4,1	3262	71,65	14,43	7,2	9,48	0,021969	0,004426	7,5	11,29
	T3	CC	4,1	3877	61,87	12,75	6,1	9,14	0,015959	0,003288	6,5	10,41
	T4	CC	4,1	7292	74,43	16,13	4,9	8,39	0,010207	0,002212	5,3	10,44

	Trat.	Prop.	Idade	N	Volume/ha	G/ha	DAP médio	h média	Vol médio	g média	dg	Hdom
MED4	T2	AT	4,8	2123	87,83	13,26	8,6	12,98	0,041371	0,006244	8,9	13,65
	T3	AT	4,8	2338	71,46	11,60	7,7	11,87	0,030558	0,004963	7,9	13,52
	T4	AT	4,8	2369	59,58	9,85	7,1	11,54	0,025148	0,004158	7,3	13,38
	T1	BDR	5,4	1569	42,52	9,25	8,5	9,07	0,027095	0,005894	8,7	10,26
	T2	BDR	5,4	2708	53,11	11,40	7,0	9,01	0,019614	0,004212	7,3	9,16
	T3	BDR	5,4	5108	49,38	11,71	5,2	8,20	0,009667	0,002292	5,4	9,52
	T4	BDR	5,4	7477	63,43	14,23	4,6	8,37	0,008484	0,001903	4,9	9,70
	T1	BS	5,0	1723	52,34	9,80	8,4	10,62	0,030374	0,005688	8,5	11,23
	T2	BS	5,0	2215	57,41	10,84	7,6	10,34	0,025913	0,004892	7,9	11,40
	T3	BS	5,0	2585	65,91	13,01	7,8	9,96	0,025499	0,005035	8,0	11,17
	T4	BS	5,0	2769	57,81	11,90	7,1	9,38	0,020875	0,004299	7,4	9,87
	T1	ADR	5,4	1385	38,34	8,65	8,8	8,77	0,027693	0,006247	8,9	10,01
	T2	ADR	5,4	2400	52,77	10,72	7,3	9,71	0,021988	0,004467	7,5	10,04
	T3	ADR	5,4	4677	52,89	11,55	5,4	8,89	0,011309	0,002469	5,6	10,18
	T4	ADR	5,4	4677	59,70	12,13	5,5	9,49	0,012765	0,002595	5,7	10,57
	T1	CC	5,0	1662	56,64	10,33	8,7	10,92	0,034088	0,006220	8,9	11,22
MED5	T2	CC	5,0	2646	75,57	13,88	7,8	10,49	0,028557	0,005244	8,2	11,70
	T3	CC	5,0	2892	70,50	13,58	7,4	10,13	0,024375	0,004697	7,7	10,67
	T4	CC	5,0	4431	71,86	14,04	6,0	9,82	0,016219	0,003170	6,4	10,62
	T1	BDR	6,3	1538	55,35	11,33	9,4	9,62	0,035975	0,007396	9,7	10,44
	T2	BDR	6,3	2585	68,52	13,83	7,9	9,61	0,026511	0,005352	8,3	9,92
	T3	BDR	6,3	4523	58,11	13,24	5,9	8,60	0,012848	0,002927	6,1	9,65
	T4	BDR	6,3	5908	74,30	15,72	5,6	9,04	0,012576	0,002661	5,8	10,60
	T1	BS	6,2	1723	66,31	11,74	9,1	11,16	0,038487	0,006812	9,3	12,57
	T2	BS	6,2	1846	67,14	11,86	8,8	11,14	0,036368	0,006427	9,0	11,86
	T3	BS	6,2	2092	76,59	13,71	8,9	11,00	0,036604	0,006552	9,1	11,99
	T4	BS	6,2	2031	61,22	11,75	8,2	10,00	0,030146	0,005785	8,6	11,08
	T1	ADR	6,3	1231	41,69	8,98	9,5	9,20	0,033873	0,007300	9,6	10,42
	T2	ADR	6,3	2277	63,26	12,20	8,1	10,25	0,027785	0,005359	8,3	11,04
	T3	ADR	6,3	3785	57,10	12,08	6,2	9,31	0,015088	0,003191	6,4	10,38
	T4	ADR	6,3	3692	69,59	13,60	6,6	9,94	0,018846	0,003682	6,8	11,17

	Trat.	Prop.	Idade	N	Volume/ha	G/ha	DAP médio	h média	Vol médio	g média	dg	Hdom
MED5	T1	CC	6,3	1662	73,44	12,62	9,6	11,63	0,044189	0,007593	9,8	11,69
	T2	CC	6,3	2338	93,80	16,17	9,1	11,32	0,040111	0,006915	9,4	13,27
	T3	CC	6,3	2308	72,96	13,05	8,1	10,91	0,031615	0,005655	8,5	11,77
	T4	CC	6,3	3785	84,79	15,59	6,9	10,39	0,022403	0,004119	7,2	11,93
MED6	T1	BDR	7,6	1169	50,20	10,29	10,5	9,74	0,042932	0,008798	10,6	10,88
	T2	BDR	7,6	1846	67,03	12,23	8,9	10,41	0,036310	0,006625	9,2	12,23
	T3	BDR	7,6	2646	42,76	9,93	6,7	7,95	0,016158	0,003753	6,9	9,95
	T4	BDR	7,6	3231	47,30	11,32	6,4	7,71	0,014639	0,003502	6,7	9,98
	T1	ADR	7,6	954	42,93	8,08	10,2	10,43	0,045006	0,008467	10,4	12,67
	T2	ADR	7,6	1662	56,69	10,47	8,7	10,46	0,034117	0,006298	9,0	12,25
	T3	ADR	7,6	2585	46,53	10,14	6,9	8,63	0,018002	0,003922	7,1	10,61
	T4	ADR	7,6	2246	65,90	11,81	7,9	10,50	0,029339	0,005256	8,2	12,56
	T1	CC	7,5	985	56,03	9,15	10,6	12,11	0,056902	0,009288	10,9	14,16
	T2	CC	7,5	1877	127,44	19,54	11,3	12,80	0,067898	0,010411	11,5	14,79
	T3	CC	7,5	1908	93,44	15,11	9,8	12,07	0,048982	0,007922	10,0	13,67
	T4	CC	7,5	1908	65,46	11,63	8,5	10,57	0,034312	0,006094	8,8	13,01

Observações: a idade é dada em anos, N em número de árvores/ha, volume/ha em m³/ha, G em m²/ha, DAP e dg em cm, alturas média e dominante em m, volume médio individual em m³ e a área transversal média é dada em m².

ANEXO 3 - PARCELAS TEMPORÁRIAS

TABELA 60 - DADOS DE MENSURAÇÃO DAS PARCELAS TEMPORÁRIAS

Parcela	Idade	N	Vol/ha	G	DAP	h	vol	g	dg	Hdom	Classe sítio	Índice sítio
1	10,0	750	119,78	14,31	14,7	15,48	0,159709	0,019078	15,6	17,73	I	16,8
2	10,0	1550	94,54	16,32	10,7	10,66	0,060993	0,010530	11,6	12,88	III	10,2
3	10,0	300	25,09	4,13	12,3	10,86	0,083617	0,013755	13,2	13,49	III	10,2
4	10,0	350	93,04	10,24	18,7	18,06	0,265836	0,029248	19,3	19,13	I	16,8
5	10,0	1050	76,96	13,14	12,0	11,29	0,073299	0,012515	12,6	12,58	III	10,2
6	11,0	900	134,68	15,34	14,4	17,16	0,149649	0,017045	14,7	18,20	I	16,8
7	11,0	850	89,52	10,44	12,1	16,35	0,105316	0,012288	12,5	17,50	II	13,5
8	11,0	600	60,83	7,61	12,3	15,78	0,101376	0,012678	12,7	17,50	II	13,5
9	11,0	800	88,11	10,64	12,6	16,15	0,110136	0,013303	13,0	19,05	I	16,8
10	12,0	400	75,78	8,74	16,3	16,44	0,189450	0,021861	16,7	18,50	II	13,5
11	12,0	400	53,99	7,42	14,4	12,99	0,134982	0,018538	15,4	16,50	II	13,5
12	12,0	500	67,71	9,93	15,1	12,78	0,135428	0,019859	15,9	14,75	II	13,5
13	12,0	550	96,28	13,49	17,5	14,36	0,175046	0,024528	17,7	14,50	III	10,2
14	12,0	600	54,10	8,26	13,0	12,42	0,090169	0,013762	13,2	15,50	II	13,5
15	6,5	1778	66,85	11,07	8,7	11,91	0,037606	0,006229	8,9	13,53	II	13,5
16	6,5	1259	30,60	6,61	7,9	8,97	0,024300	0,005249	8,2	10,61	III	10,2
17	6,5	1889	61,44	10,61	8,2	11,32	0,032527	0,005616	8,5	12,70	II	13,5
18	6,5	630	26,03	4,80	9,6	10,73	0,041346	0,007622	9,9	10,20	III	10,2
19	6,5	1963	72,56	11,23	8,3	12,61	0,036962	0,005721	8,5	13,87	II	13,5
20	6,5	1852	80,84	12,68	9,0	12,35	0,043655	0,006849	9,3	14,10	II	13,5
21	6,5	1444	75,82	11,66	9,8	12,53	0,052494	0,008070	10,1	14,07	II	13,5
22	6,5	2296	64,46	11,78	7,9	10,91	0,028071	0,005130	8,1	11,08	III	10,2
23	6,5	2333	86,05	13,25	8,3	12,70	0,036878	0,005681	8,5	13,93	II	13,5
24	12,0	1444	133,96	18,96	12,4	13,69	0,092739	0,013129	12,9	15,60	II	13,5
25	12,0	1444	86,01	13,89	10,5	11,91	0,059545	0,009613	11,1	13,62	III	10,2
26	12,0	1259	76,80	11,26	10,4	13,11	0,060987	0,008941	10,7	16,82	II	13,5
27	12,0	1074	94,62	12,76	12,0	14,75	0,088097	0,011885	12,3	15,83	II	13,5
28	12,0	1630	86,61	12,99	9,8	12,89	0,053146	0,007974	10,1	14,83	II	13,5

Parcela	Idade	N	Vol/ha	G	DAP	h	vol	g	dg	Hdom	Classe sítio	Índice sítio
29	12,0	1333	76,49	12,22	10,6	12,53	0,057366	0,009168	10,8	12,79	III	10,2
30	5,5	1778	35,04	7,03	6,9	9,79	0,019712	0,003955	7,1	10,63	III	10,2
31	5,5	2778	49,49	9,55	6,5	10,25	0,017818	0,003437	6,6	12,10	II	13,5
32	5,5	2037	35,00	7,38	6,7	9,43	0,017181	0,003624	6,8	10,43	III	10,2
33	5,5	2593	53,56	10,13	6,9	10,35	0,020658	0,003905	7,1	12,50	II	13,5
34	5,5	1963	47,45	9,10	7,5	10,30	0,024174	0,004638	7,7	11,00	II	13,5
35	5,5	1593	40,49	7,58	7,6	10,66	0,025426	0,004759	7,8	11,07	II	13,5
36	18,0	407	134,30	14,24	20,6	18,75	0,329643	0,034947	21,1	20,33	II	13,5
37	18,0	630	136,22	16,85	17,6	15,29	0,216350	0,026756	18,5	17,50	II	13,5
38	18,0	593	152,20	16,49	18,5	18,37	0,256834	0,027828	18,8	18,97	II	13,5
39	18,0	481	147,13	16,10	19,9	18,73	0,305584	0,033429	20,6	18,60	II	13,5
40	6,5	2037	105,97	15,64	9,5	13,18	0,052020	0,007680	9,9	14,70	I	16,8
41	6,5	2000	96,95	15,07	9,5	12,52	0,048473	0,007537	9,8	13,97	II	13,5
42	6,5	3074	109,90	17,32	8,2	12,41	0,035750	0,005633	8,5	14,15	II	13,5
43	6,5	1963	88,74	13,03	8,9	13,27	0,045206	0,006639	9,2	15,43	I	16,8
44	6,5	1815	59,05	9,79	8,0	11,81	0,032539	0,005395	8,3	13,23	II	13,5
45	6,5	1926	81,40	12,25	8,7	13,05	0,042267	0,006361	9,0	14,57	II	13,5
46	5,0	2370	33,84	7,82	6,4	8,59	0,014276	0,003300	6,5	9,55	III	10,2
47	5,0	2148	47,33	9,11	7,2	10,27	0,022031	0,004241	7,3	12,07	II	13,5
48	5,0	2519	53,11	9,98	7,0	10,47	0,021086	0,003964	7,1	12,30	II	13,5
49	5,0	3148	78,76	12,89	7,1	11,99	0,025018	0,004093	7,2	13,60	I	16,8
50	5,0	2370	61,11	10,51	7,2	11,23	0,025780	0,004434	7,5	13,30	I	16,8
51	5,0	1815	57,48	9,83	8,0	11,51	0,031673	0,005415	8,3	12,87	II	13,5
52	5,0	1741	36,69	7,51	7,2	9,54	0,021076	0,004317	7,4	10,60	II	13,5
53	5,0	2556	85,52	14,27	8,2	11,80	0,033464	0,005583	8,4	13,17	I	16,8
54	5,0	2296	41,39	9,43	7,1	8,66	0,018026	0,004107	7,2	9,98	III	10,2
55	5,0	1815	43,64	8,58	7,6	9,98	0,024046	0,004730	7,8	11,35	II	13,5
56	5,0	2630	40,83	8,77	6,4	9,28	0,015528	0,003333	6,5	11,20	II	13,5
57	5,0	2630	81,74	13,60	7,8	11,59	0,031086	0,005170	8,1	13,37	I	16,8
58	9,0	1370	143,47	17,81	12,5	16,05	0,104694	0,012996	12,9	17,37	I	16,8
59	9,0	2370	110,80	16,73	9,2	12,83	0,046744	0,007058	9,5	15,07	II	13,5
60	9,0	1333	140,26	16,73	12,0	15,99	0,105197	0,012544	12,6	18,33	I	16,8
61	9,0	1815	137,55	17,63	10,7	14,75	0,075793	0,009716	11,1	16,68	II	13,5

Parcela	Idade	N	Vol/ha	G	DAP	h	vol	g	dg	Hdom	Classe sítio	Índice sítio
62	9,0	2074	130,46	17,08	10,0	15,01	0,062899	0,008235	10,2	16,97	I	16,8
63	9,0	1185	159,21	18,79	13,5	16,35	0,134333	0,015850	14,2	18,53	I	16,8
64	12,0	333	84,04	9,96	17,9	16,59	0,252111	0,029867	19,5	17,17	II	13,5
65	12,0	1259	130,80	16,73	12,5	14,93	0,103872	0,013285	13,0	17,53	II	13,5
66	12,0	667	79,05	9,88	12,9	15,27	0,118582	0,014816	13,7	17,00	II	13,5
67	12,0	926	75,28	10,25	11,5	14,44	0,081298	0,011071	11,9	15,13	II	13,5
68	12,0	889	96,99	13,34	13,4	14,18	0,109110	0,015004	13,8	16,03	II	13,5
69	12,0	815	94,96	11,11	12,7	16,27	0,116543	0,013638	13,2	12,88	III	10,2
70	7,0	2148	97,67	15,99	9,3	11,91	0,045467	0,007443	9,7	13,00	II	13,5
71	7,0	2074	90,96	14,83	9,2	12,03	0,043854	0,007150	9,5	12,89	II	13,5
72	7,0	2667	88,97	15,92	8,4	11,05	0,033364	0,005968	8,7	11,76	III	10,2
73	7,0	2963	105,28	17,43	8,4	11,88	0,035533	0,005883	8,7	12,60	II	13,5
74	7,0	2259	97,80	15,48	9,0	12,32	0,043290	0,006850	9,3	14,14	II	13,5
75	7,0	2704	84,04	13,80	7,8	11,93	0,031082	0,005104	8,1	12,59	II	13,5
76	7,0	2963	54,41	11,49	6,9	9,39	0,018364	0,003878	7,0	10,53	III	10,2
77	7,0	2704	44,62	9,85	6,7	9,03	0,016503	0,003642	6,8	10,17	III	10,2
78	7,0	2333	43,97	9,87	7,1	8,80	0,018845	0,004229	7,3	9,82	III	10,2
79	7,0	2481	48,08	10,15	7,1	9,41	0,019377	0,004089	7,2	10,28	III	10,2
80	7,0	2630	49,79	10,53	7,0	9,35	0,018934	0,004004	7,1	10,20	III	10,2
81	7,0	2704	49,72	10,90	7,0	9,10	0,018389	0,004032	7,2	9,52	III	10,2
82	7,5	1259	55,84	9,80	9,5	11,17	0,044343	0,007786	10,0	12,15	III	10,2
83	7,5	1481	95,86	15,40	11,1	12,32	0,064704	0,010397	11,5	12,84	II	13,5
84	7,5	1259	101,36	14,12	11,6	14,26	0,080492	0,011214	11,9	14,89	II	13,5
85	7,5	1074	69,23	10,53	10,7	12,56	0,064459	0,009799	11,2	14,52	II	13,5
86	7,5	1259	89,63	13,44	11,2	13,12	0,071179	0,010677	11,7	13,96	II	13,5
87	7,5	2222	109,11	17,59	9,6	11,89	0,049098	0,007915	10,0	13,53	II	13,5
88	9,0	1300	153,24	21,82	14,1	13,92	0,117879	0,016785	14,6	15,00	II	13,5
89	8,5	1900	77,02	12,67	8,8	11,74	0,040537	0,006671	9,2	13,00	II	13,5
90	5,0	2700	97,38	17,09	8,7	11,17	0,036067	0,006331	9,0	11,50	II	13,5
91	3,5	4100	84,44	17,44	7,2	9,41	0,020595	0,004254	7,4	10,00	II	13,5
92	6,5	3300	111,50	19,70	8,5	11,11	0,033788	0,005968	8,7	12,50	II	13,5
93	6,5	2800	84,66	15,71	8,2	10,39	0,030236	0,005610	8,5	12,00	II	13,5
94	9,0	2000	224,83	29,30	12,9	14,55	0,112416	0,014649	13,7	16,50	II	13,5

Parcela	Idade	N	Vol/ha	G	DAP	h	vol	g	dg	Hdom	Classe sítio	Índice sítio
95	4,5	3000	95,93	18,48	8,5	10,10	0,031977	0,006160	8,9	11,00	II	13,5
96	4,5	5800	144,20	34,74	8,3	7,85	0,024863	0,005990	8,7	9,50	III	10,2
97	5,5	2400	174,02	27,13	11,1	11,58	0,072506	0,011303	12,0	15,50	I	16,8
98	9,0	2400	140,94	24,49	11,0	11,23	0,058726	0,010203	11,4	13,00	III	10,2
99	7,0	2600	75,22	14,67	8,1	9,75	0,028932	0,005643	8,5	12,00	II	13,5
100	7,0	2600	105,88	17,32	8,8	11,83	0,040723	0,006661	9,2	13,00	II	13,5
101	6,5	3500	92,31	15,85	7,4	11,49	0,026373	0,004529	7,6	11,50	II	13,5
102	6,5	2300	106,51	18,19	9,7	11,24	0,046310	0,007908	10,0	13,50	II	13,5
103	4,5	2100	56,28	11,44	8,1	9,38	0,026801	0,005447	8,3	11,50	II	13,5
104	6,5	2200	155,09	24,22	11,1	12,36	0,070494	0,011010	11,8	13,00	II	13,5
105	4,5	2800	76,78	18,67	8,8	7,95	0,027423	0,006668	9,2	6,00	III	10,2
106	3,5	2700	56,76	15,52	8,3	6,91	0,021024	0,005748	8,6	7,50	III	10,2
107	7,0	2800	102,60	17,05	8,6	11,93	0,036644	0,006088	8,8	13,50	II	13,5
108	3,0	4400	77,67	18,57	7,1	8,28	0,017653	0,004221	7,3	8,50	II	13,5
109	5,0	4500	195,73	33,12	9,2	11,19	0,043497	0,007360	9,7	13,50	I	16,8
110	5,0	4200	238,92	38,96	10,3	11,37	0,056885	0,009277	10,9	14,50	I	16,8
111	5,0	4500	58,82	15,37	6,5	7,48	0,013072	0,003415	6,6	9,00	III	10,2
112	8,0	2300	114,70	19,40	9,8	10,98	0,049868	0,008436	10,4	13,00	II	13,5
113	6,0	2700	119,64	17,67	8,8	13,19	0,044310	0,006545	9,1	15,50	I	16,8
114	4,5	3600	49,14	8,29	8,6	11,60	0,036851	0,006214	8,9	13,00	I	16,8
115	7,0	1800	117,56	19,47	11,1	11,75	0,065310	0,010818	11,7	12,00	II	13,5
116	4,5	2800	101,44	19,03	9,0	10,50	0,036228	0,006796	9,3	11,00	II	13,5
117	5,5	2700	88,19	16,94	8,7	10,30	0,032662	0,006275	8,9	10,50	III	10,2
118	3,5	3100	166,53	29,09	10,6	10,97	0,053720	0,009384	10,9	13,50	I	16,8
119	4,0	2200	89,99	20,63	10,3	8,52	0,040903	0,009379	10,9	9,50	II	13,5
120	5,0	4100	78,19	17,47	7,2	8,73	0,019072	0,004262	7,4	10,00	III	10,2
121	6,5	5200	136,13	29,80	8,2	8,87	0,026178	0,005730	8,5	9,50	III	10,2
122	13,5	2700	353,10	56,01	15,6	12,33	0,130778	0,020745	16,3	13,50	III	10,2
123	8,5	3000	234,28	43,62	13,1	10,43	0,078093	0,014540	13,6	12,00	III	10,2
124	8,0	2400	243,54	39,88	13,8	11,65	0,101474	0,016618	14,5	14,00	II	13,5

Observações: a idade é dada em anos, N em número de árvores/ha, volume/ha em m³/ha, G em m²/ha, DAP e dg em cm, alturas média e dominante e índice de sítio em m, volume médio individual em m³ e a área transversal média é dada em m².

**ANEXO 4 - MODELAGEM DE DAP, VOLUME E ÁREA
TRANSVERSAL MÉDIOS EM FUNÇÃO
DA DENSIDADE INICIAL**

TABELA 61 - RESULTADOS DO MODELO DE MELHOR AJUSTE (MODELO 5 – TABELA 16) PARA ESTIMATIVA DO DAP MÉDIO DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE

Idade	4,1	5,1	6,3	7,6
a	11,9432	7,3277	7,7893	4,8971
b	0,5121	0,5402	0,5166	0,7145
c	-0,2228	-0,1588	-0,1446	-0,1310
R ²	0,9111	0,8316	0,7780	0,7355
R ² ajust.	0,9006	0,8118	0,7438	0,6768
S _{xy} %	7,0	7,5	7,6	8,8

Coefficientes em **negrito** são significativos ao nível de 1% de significância.

TABELA 62 - RESULTADOS DO MODELO DE MELHOR AJUSTE (MODELO 5 – TABELA 16) PARA ESTIMATIVA DE VOLUME MÉDIO DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE

Idade	4,1	5,1	6,3	7,6
a	7,054.10⁻³	5,267.10⁻³	6,531.10⁻³	2,103.10⁻³
b	1,8018	1,6414	1,5868	2,1739
c	-0,4332	-0,3104	-0,2853	-0,2835
R ²	0,9142	0,8685	0,7848	0,7057
R ² ajust.	0,9041	0,8530	0,7517	0,6403
S _{xy} %	10,6	12,2	14,5	20,5

Coefficientes em **negrito** são significativos ao nível de 1% de significância.

TABELA 63 - RESULTADOS DO MODELO DE MELHOR AJUSTE (MODELO 5 – TABELA 16) PARA ESTIMATIVA DA g MÉDIA DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE

Idade	4,1	5,1	6,3	7,6
a	9,072.10⁻³	4,098.10⁻³	4,184.10⁻³	1,777.10⁻³
b	1,0291	1,05740	1,0614	1,4221
c	-0,4125	-0,2997	-0,2749	-0,2475
R ²	0,9039	0,8339	0,7671	0,7296
R ² ajust.	0,8926	0,8143	0,7312	0,6695
S _{xy} %	11,8	13,3	14,7	16,1

Coefficientes em **negrito** são significativos ao nível de 1% de significância.

FIGURA 136 - DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE

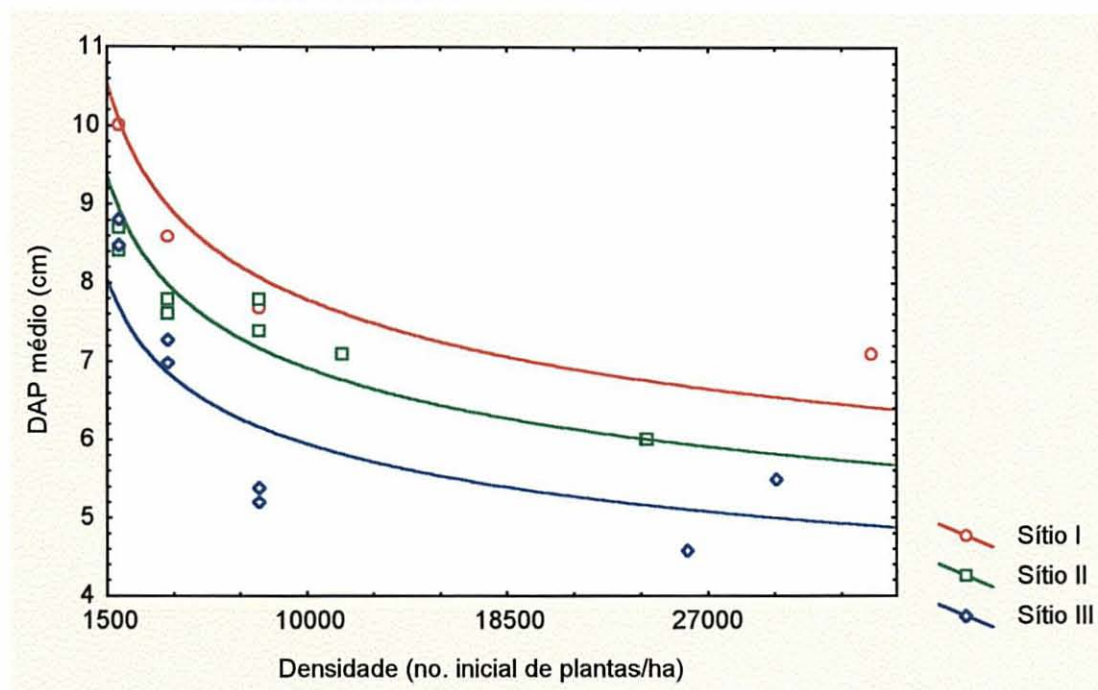


FIGURA 137 - DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 6,3 ANOS DE IDADE

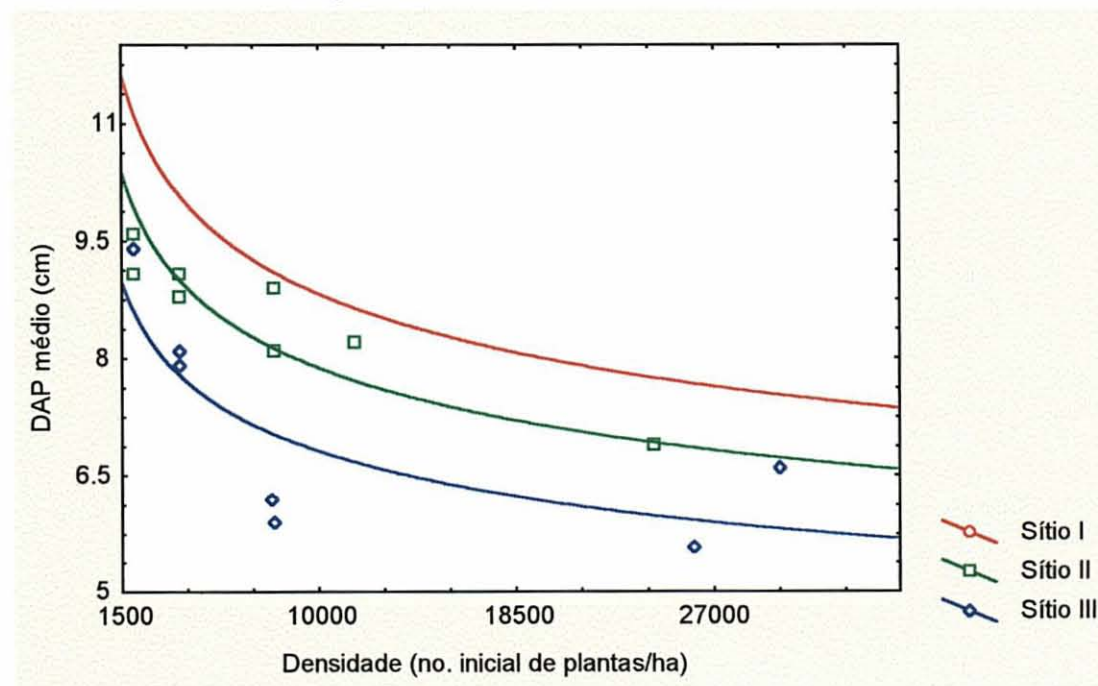


FIGURA 138 - DAP MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 7,6 ANOS DE IDADE

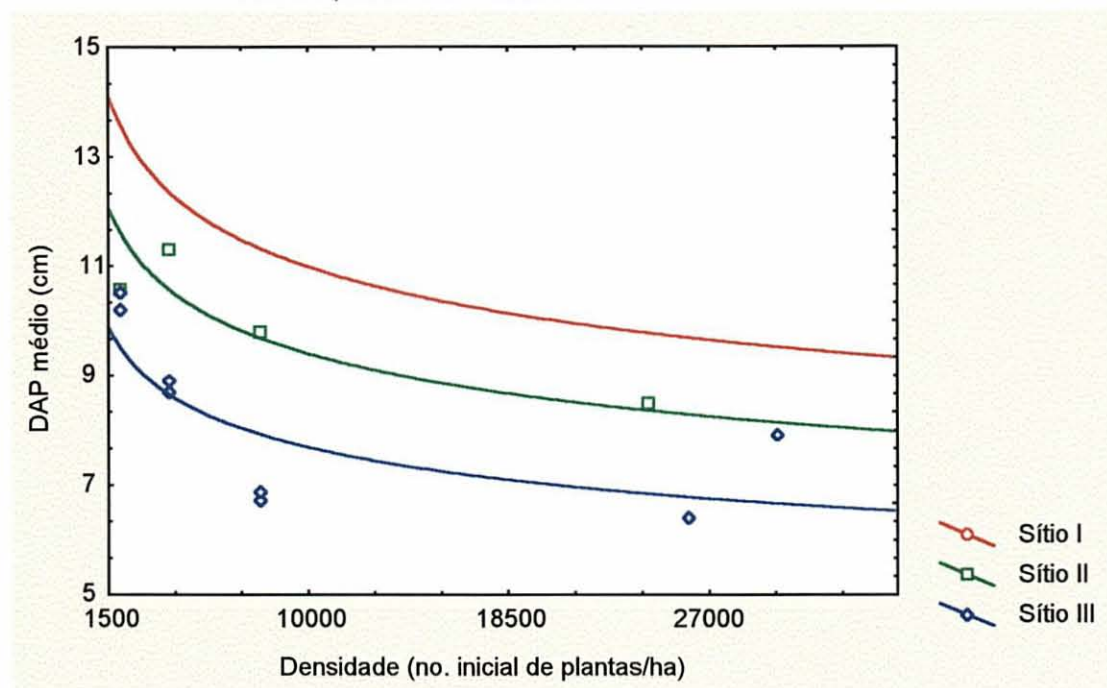


FIGURA 139 - VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE

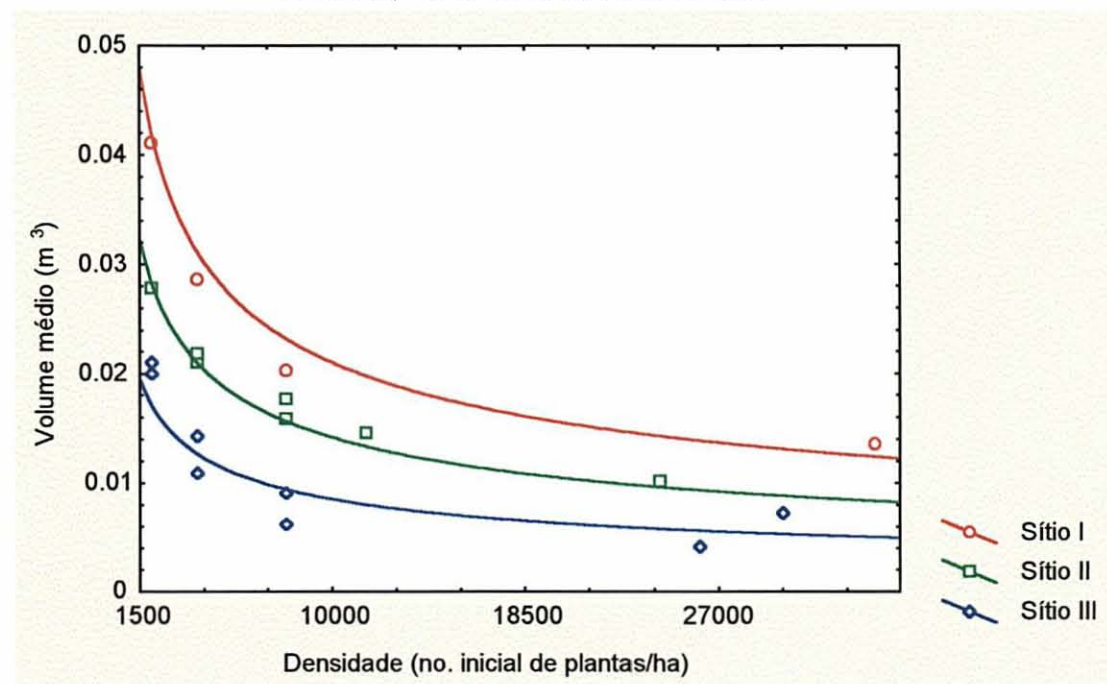


FIGURA 140 - VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE

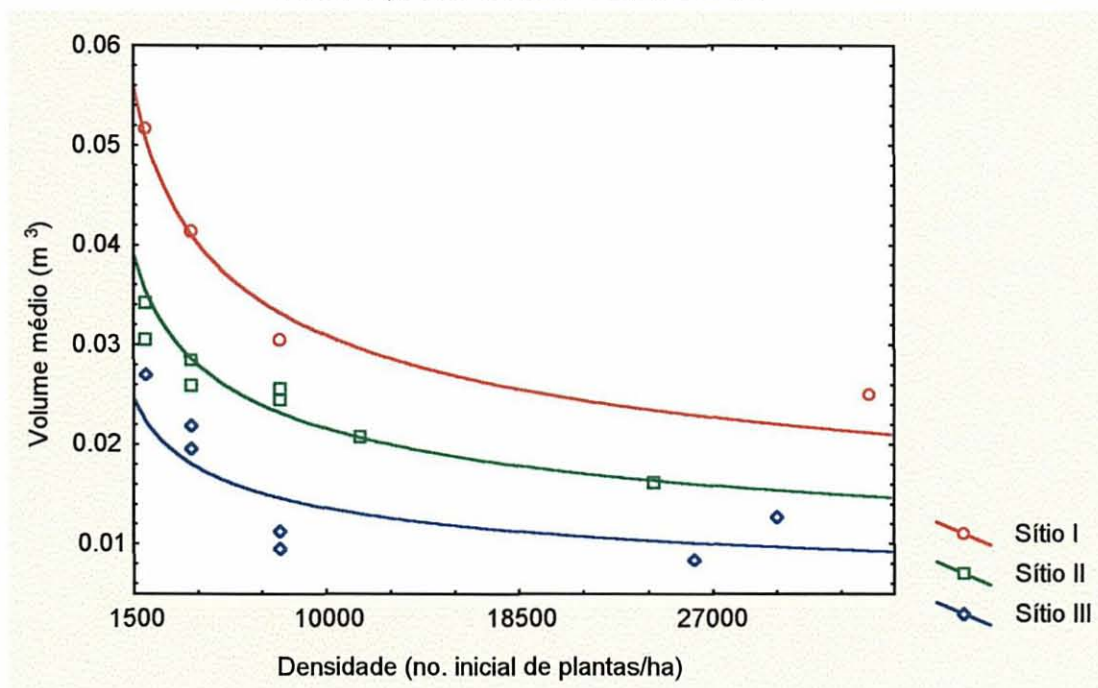


FIGURA 141 - VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 6,3 ANOS DE IDADE

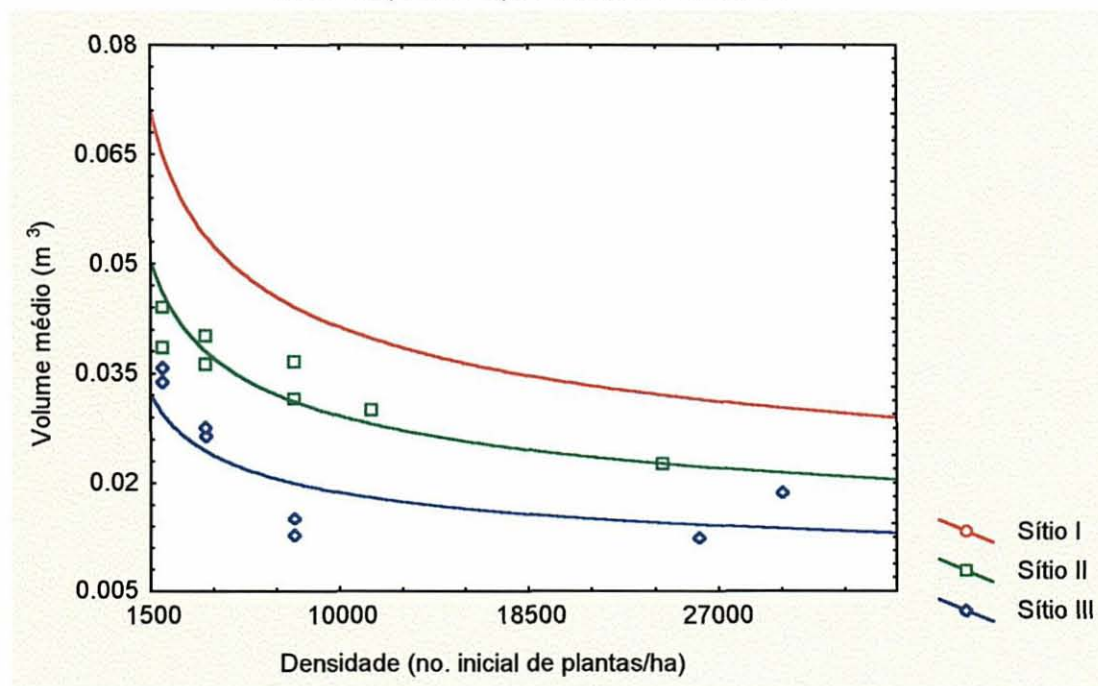


FIGURA 142 - VOLUME MÉDIO EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 7,6 ANOS DE IDADE

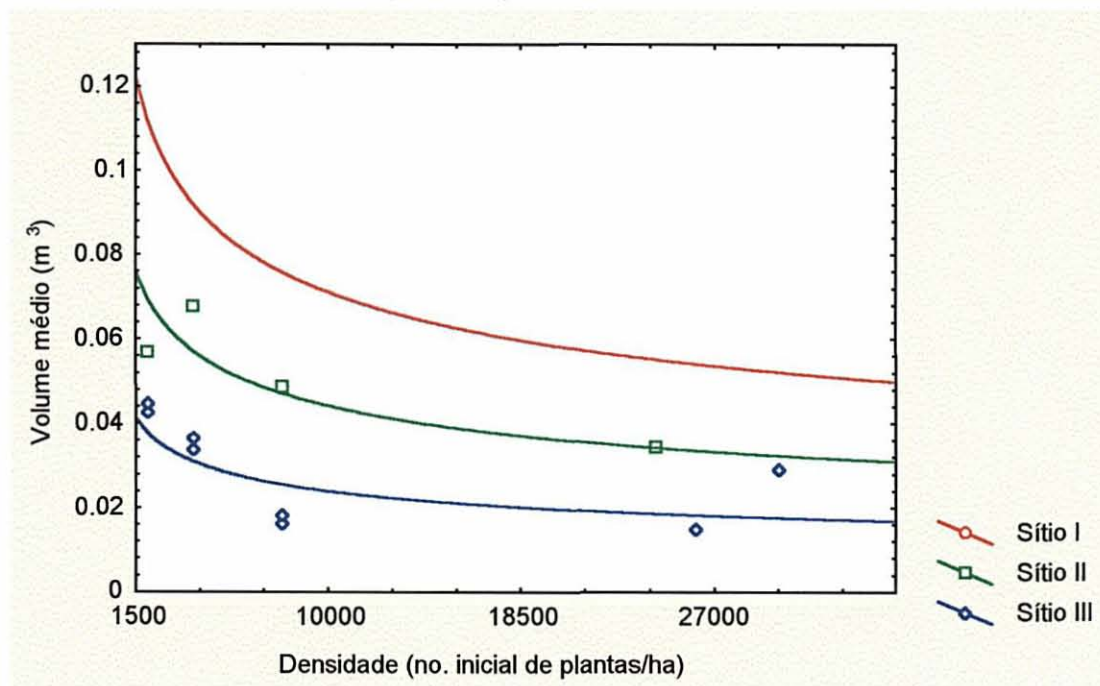


FIGURA 143 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 4 ANOS DE IDADE

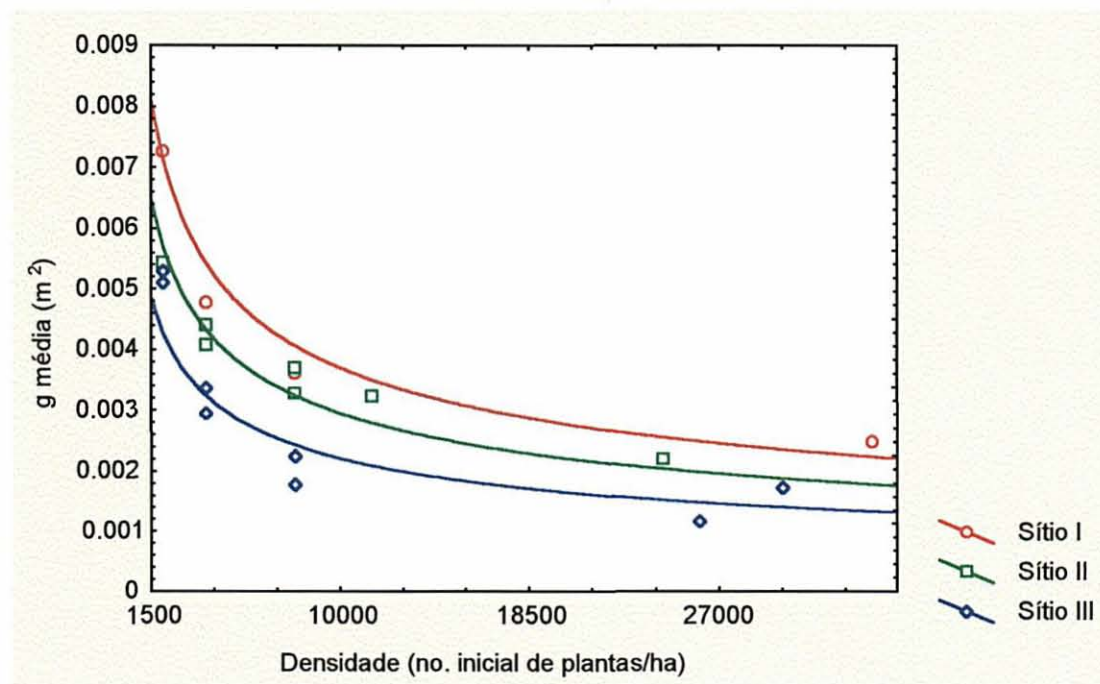


FIGURA 144 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE

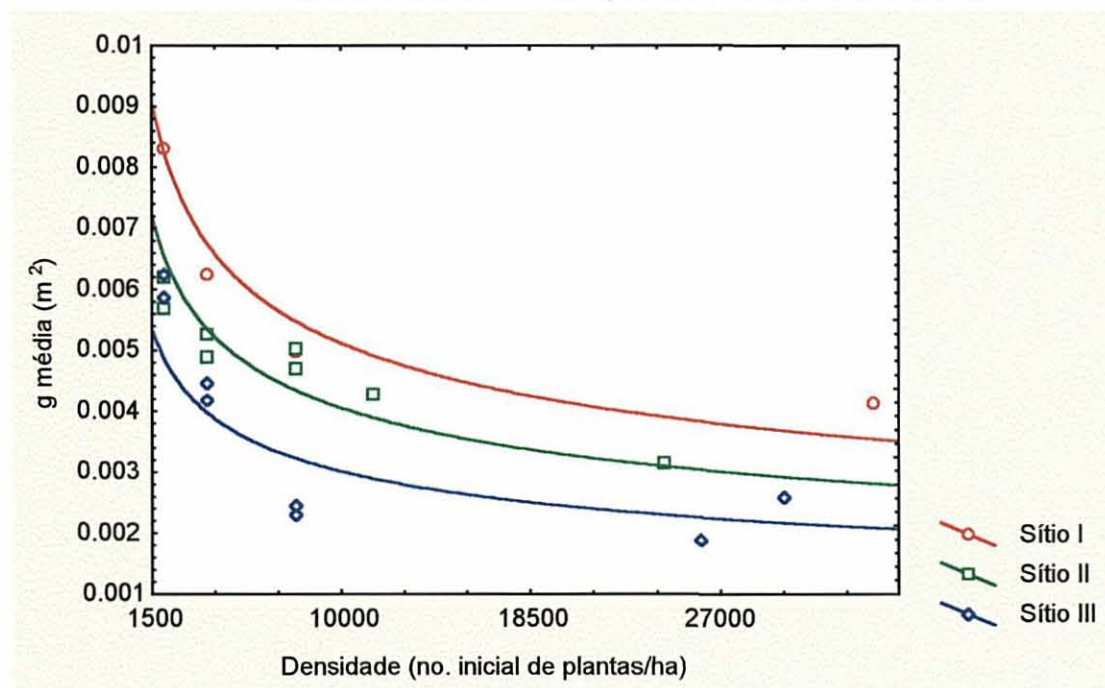


FIGURA 145 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 6,3 ANOS DE IDADE

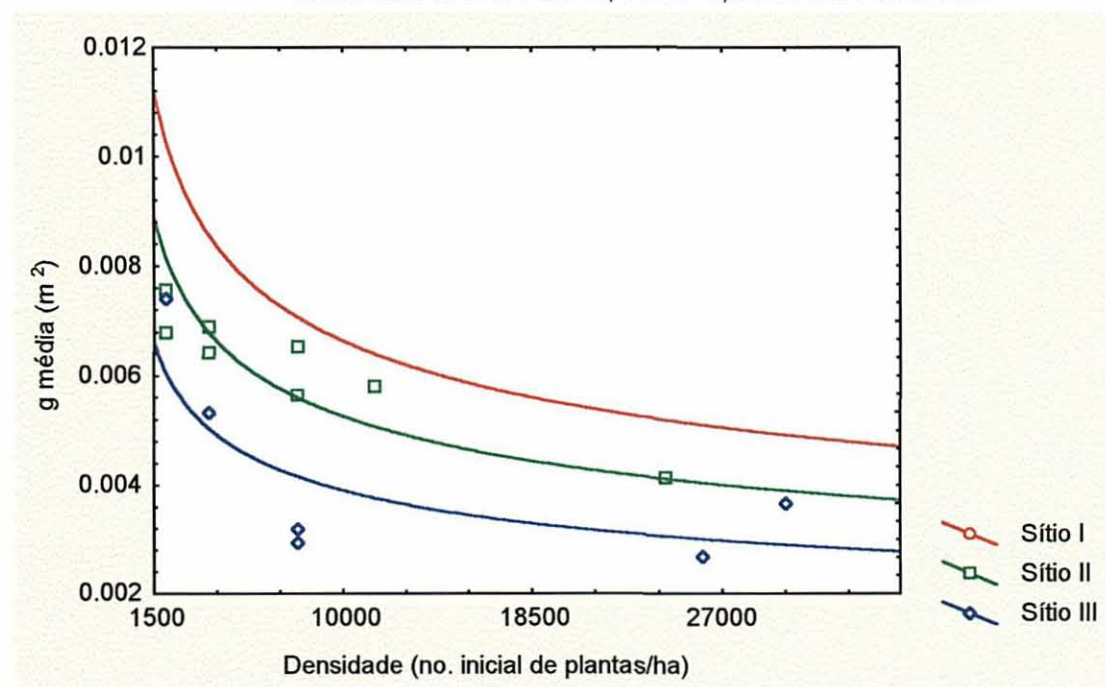
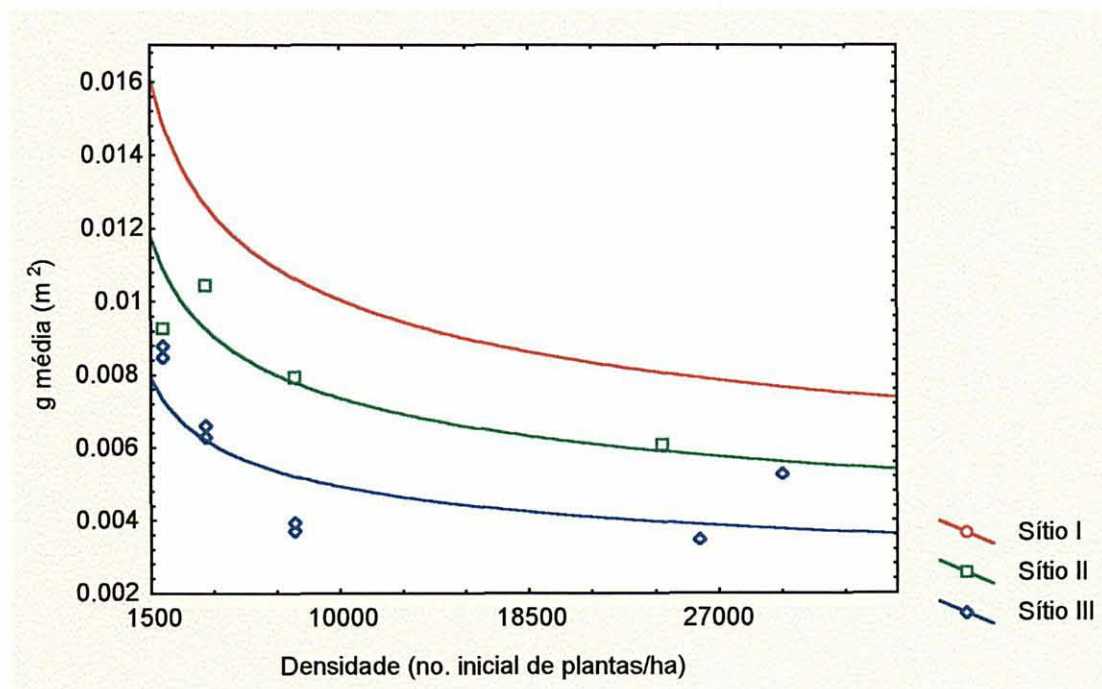


FIGURA 146 - ÁREA TRANSVERSAL MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 7,6 ANOS DE IDADE



ANEXO 5 - MODELAGEM DA ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL

TABELA 64 - RESULTADOS DOS MODELOS DE MELHOR AJUSTE (CONFORME TABELA 22) PARA ESTIMATIVA DA ALTURA MÉDIA DE BRACATINGAIS EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL E POR IDADE

Idade	1,0	2,2	4,1	5,1
Modelo	7	1	7	3
a	-1,0509	-5,1833	2,1257	6,2132
b	1,5171	5,5622	0,7303	0,4709
c	-0,2091	-0,3916	-0,04959	-0,2487
R ²	0,8597	0,8279	0,8877	0,8735
R ² ajust.	0,8432	0,8076	0,8745	0,8586
S _{xy} %	13,3	10,1	5,1	4,9

Coefficientes em **negrito** são significativos ao nível de 5% de significância.

FIGURA 147 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, A 1 ANO DE IDADE

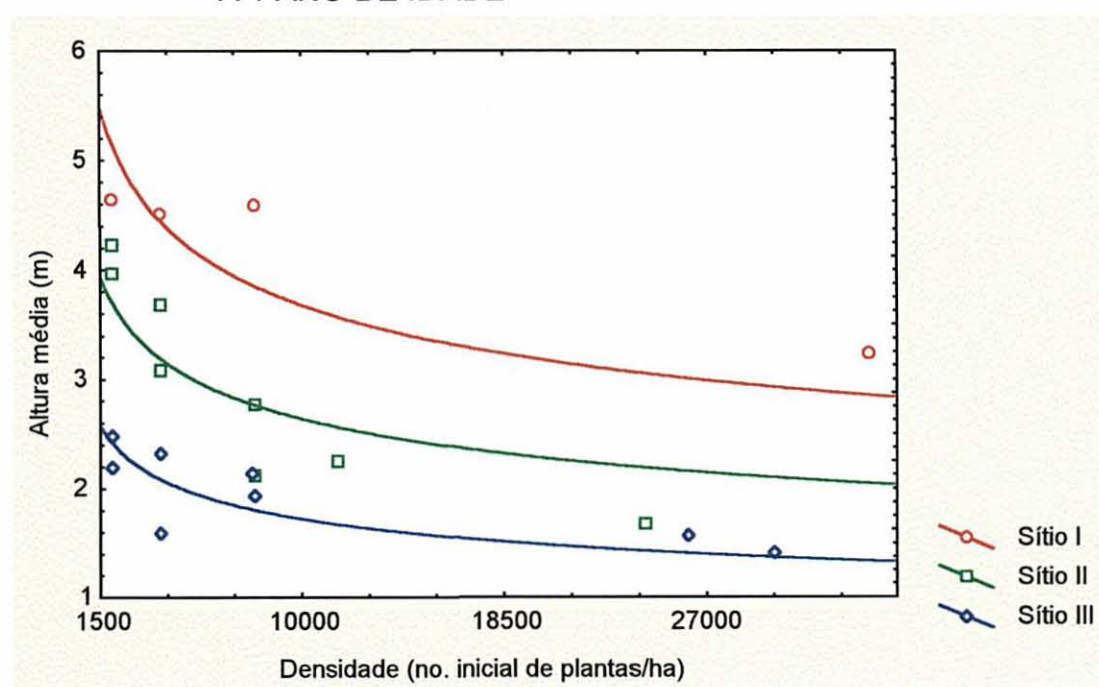


FIGURA 148 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 2 ANOS DE IDADE

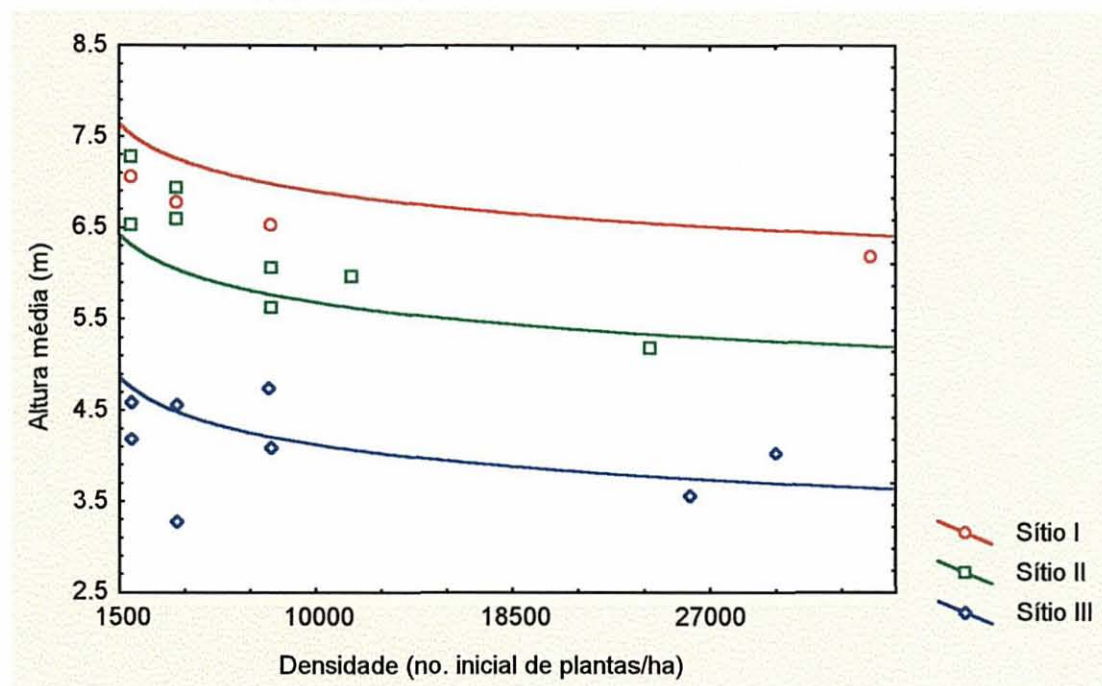
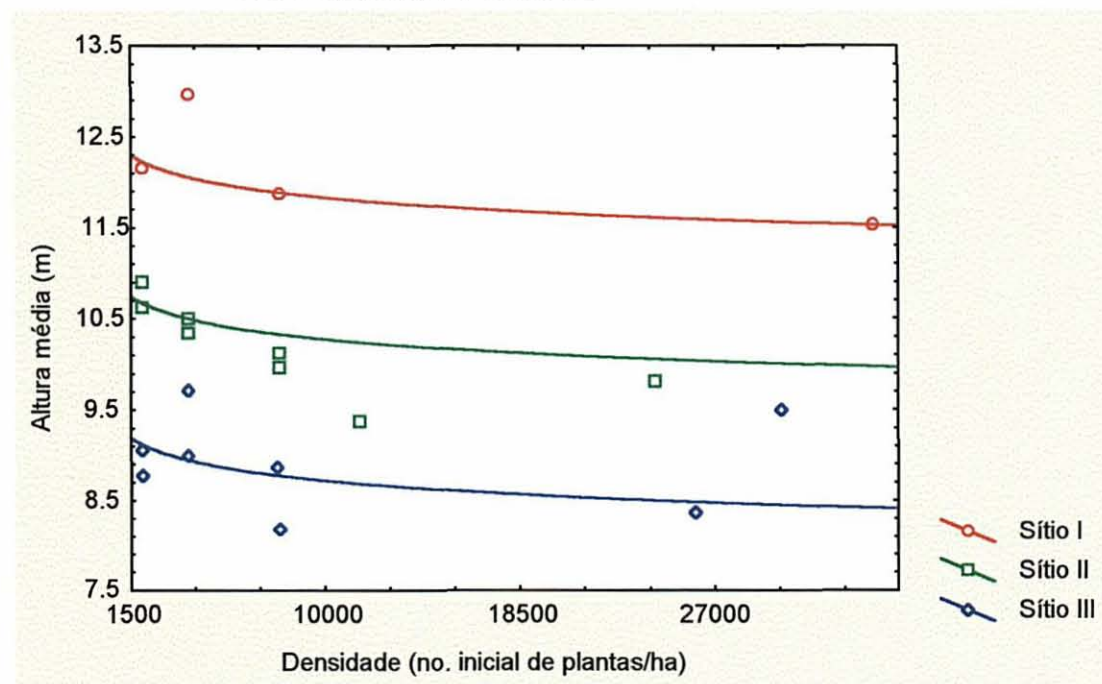


FIGURA 149 - ALTURA MÉDIA EM FUNÇÃO DA DENSIDADE INICIAL, AOS 5 ANOS DE IDADE



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 AHRENS, S. Um modelo matemático para volumetria comercial de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPf, 1981. p. 77-89
- 2 ARCE, J.J.; BAUER, J.A. *Mimosa scabrella*: leguminosa promissora para zonas altas. Silvoenergia, Turrialba, n. 9, set. 1985.
- 3 AVERY, T.E.; BURKHART, H.E. Forest measurements. 3. ed. New York : McGraw-Hill, 1983.
- 4 BAGGIO, A. J.; CARPANEZZI, A.A.; GRAÇA, L.R.; CECCON, E. Sistema agroflorestal tradicional da bracatinga com culturas agrícolas anuais. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n.12, p.73-82, jun. 1986.
- 5 _____; GRAÇA, L.R.; OLIVEIRA, E.B. de. Plantio intercalar de bracatinga em áreas de cultivo agrícola. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL (2.: 1991 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPf, 1992. p. 297-316
- 6 _____; CARPANEZZI, A.A. Exportação de nutrientes na exploração de bracatingais. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 34, p. 3-15, jan./jun. 1997.
- 7 BELLI, K.L.; NAUTIYAL, J.C. Production functions: a useful tool for forest management. Forest Ecology and Management, Amsterdam, n. 29, p. 267-275, 1989.
- 8 BURGER, D. Ordenamento florestal I: a produção florestal. 4. ed. Curitiba : FUPEF, 1980.
- 9 BURKART, A. Leguminosas mimosoideas. In: REITZ, P.R. Flora ilustrada catarinense. Itajaí : Herbário Barbosa Rodrigues, 1978. p. 179-185.
- 10 CAMPOS, C.H.O.; GRAÇA, L.R.; RIBAS, L.C. A produtividade do bracatingal tradicional através do tempo. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n.12, p. 35-46, 1986.
- 11 CARPANEZZI, A.A. et al. Manual técnico da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). EMBRAPA-CNPf. Documentos, 20. Colombo, 1988.

- 12 _____; CARPANEZZI, O.T.B. Cultivo da bracatinga no Brasil e prioridades para o seu aperfeiçoamento. In: CONGRESSO FLORESTAL ESTADUAL (7. : 1992 : Nova Prata). Anais... p.640-645.
- 13 _____; _____; BAGGIO, A.J. Manejo de bracatingais. In: CURSO DE MANEJO FLORESTAL SUSTENTÁVEL (1997 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA, 1997.
- 14 CARPANEZZI, O.T.B. Resultados preliminares das unidades de comprovação do sistema bracatinga. Curitiba : EMATER, 1989.
- 15 _____. Produtividades florestal e agrícola em sistemas de cultivo de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em Bocaiúva do Sul, Região Metropolitana de Curitiba - Paraná. Piracicaba, 1994. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- 16 CARVALHO, P.E.R. Comportamento da bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth) em plantios experimentais. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1981. p. 53-65.
- 17 _____. Composição e crescimento de um povoamento natural de bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1981. p. 67-75.
- 18 CATIE. Silvicultura de especies promisorias para producción de leña en America Central: resultados de cinco años de investigación. Turrialba, 1986. (Informe Técnico/CATIE, 86).
- 19 _____. Bracatinga (*Mimosa scabrella* Benth.) especie de árbol de uso múltiple en América Central. Turrialba, 1990. (Informe Técnico/CATIE, 169).
- 20 CLUTTER, J.L.; FORTSON, J.C.; PIENAAR, L.V. et al. Timber management : a quantitative approach. New York : J.Wiley, 1983.
- 21 CRECHI, E.H. Efeitos da densidade de plantação sobre a produção, crescimento e sobrevivência em *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Ktze. em Misiones, Argentina. Curitiba, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.

- 22 CREMER, K.W.; CROMER, R.N.; FLORENCE, R.G. Stand establishment. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. Eucalypts for wood production. Adelaide : Griffin Press, 1978.
- 23 CRONQUIST, A. The evolution and classification of flowering plants. 2. ed. New York : The New York Botanical Garden, 1988.
- 24 DIAS, I. de S.; KAGEYAMA, P.Y.; FONSECA, S.M. Importância das sementes na viabilidade das populações naturais de bracatinga (nota prévia). In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1981. p. 117-122.
- 25 FERRAZ, E.S.B; FONSECA, S.M. da. Estudo do padrão de crescimento da *Mimosa bracaatinga* pela análise de densidade dos anéis usando radiação gama. Piracicaba, IPEF, 1980. (IPEF. Circular Técnica, 113).
- 26 GANTER, J.L.M.S. Galactomanana de sementes de *Mimosa scabrella* (bracatinga). Curitiba, 1988. Dissertação (Mestrado em Bioquímica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- 27 _____. Estudos de carboidratos de sementes de *Mimosa scabrella* (bracatinga): análise estrutural dos oligossacarídeos e propriedades reológicas da galactomanana. Curitiba, 1991. Tese (Doutorado em Bioquímica) - Setor de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Paraná.
- 28 _____.; CARDOSO, A.T.M.; KAMINSKI, M.; REICHER, F. Galactomannan from the seeds of *Mimosa scabrella*: a scale-up process. International Journal of Biological Macromolecules, n. 21, p. 137-140, 1997.
- 29 GRAÇA, L.R.; RIBAS, L.C.; BAGGIO, A.J. A rentabilidade econômica da bracatinga no Paraná. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 12, p. 47-72, jun. 1986.
- 30 _____.; MENDES, J.B. Análise econômica de sistemas de reflorestamento com bracatinga. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 14, p. 54-63, jun. 1987.
- 31 _____. Idade ótima de abate em bracatingal tradicional. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 15, p. 55-60, dez. 1987.
- 32 HOSOKAWA, R.T.; HILDEBRAND, E.; FARIAS, G.L.; MENDES, J.B. Avaliação preliminar de produção de povoamentos de bracatinga: relatório final. Curitiba, FUPEF, 1981.

- 33 HOSOKAWA, R.T.; SOUZA, A.L. de. Função para produtividade e função por produção: teoria e prática. Brasília : ABEAS, [198-].
- 34 HUSCH, B.; MILLER, C.I.; BEERS, T.W. Forest mensuration. 3. ed. New York : J. Wiley, 1982.
- 35 IAPAR. Cartas climáticas do Estado do Estado do Paraná 1994. Londrina, 1994. (IAPAR. Documento, 18)
- 36 LAURENT, J.M.E. et al. Melhoramento do sistema agroflorestal da bracinga. Curitiba : Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA, 1990.
- 37 LISBÃO JUNIOR, L. Bracinga como fonte energética. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1981. p. 133-143
- 38 LOETSCH, F.; ZÖHRER, F.; HALLER, K.E. Forest inventory: volume 2. München : BLV, 1973.
- 39 LORENZI, H. Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil. Nova Odessa, SP : Plantarum, 1992.
- 40 MACHADO, S.A. Studies of growth and yield estimation for *Pinus taeda* L. plantations in the State of Paraná, Brazil. Washington, 1978. Dissertation (Doctor of Philosophy) - University of Washington.
- 41 MACHADO, S.A. Estimativa de sobrevivência de *Pinus taeda* em plantios homogêneos. Floresta, Curitiba, v.10, n.1, p.73-76, 1979.
- 42 MACHADO, S.A.; OLIVEIRA, E.B. de; CARPANEZZI, A.A.; BARTOSZECK, A.C.P.S. Classificação de sítio para bracingais na Região Metropolitana de Curitiba. No prelo. 1996.
- 43 MAESTRI, R. Estimativa de produção presente e futura de volume de madeira e peso de casca para povoamentos de acácia-negra (*Acacia mearnsii* de Wild). Curitiba, 1992. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 44 MARTINS, R. Livro das árvores do Paraná. Curitiba : Empresa Gráfica Paranaense, 1944.
- 45 MATTOS, J.R.; MATTOS, N.F. A bracinga. Porto Alegre : IPRNR, 1980. Publicação IPRNR nº 5.

- 46 MAZUCHOWSKI, J.Z. Organização da reposição florestal. Curitiba : Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA, 1990.
- 47 _____. Resultados e indicadores do projeto FAO-bracatinga. In: ENCONTRO BRASILEIRO DE ECONOMIA E PLANEJAMENTO FLORESTAL (2.: 1991 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1992. p. 369-384
- 48 MENDES, J.B.; PETLA, R.M.; TONON, A.E.N. Manejo de florestas de Pinus. Trabalho apresentado no Encontro de Empresários do Setor de Base Florestal, 1994.
- 49 MESA REDONDA: conclusões e recomendações. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1981. p. 187-190.
- 50 MUSÁLEM, M.A. La bracatinga: introducción, crecimiento, manejo y utilización en asociación con cafetal; una combinación promisoría para los trópicos de México. In: NITROGEN FIXING TREES FOR ACID SOILS (1994 : Turrialba). Proceedings... [S.l.] : Nitrogen Fixing Tree Association, 1995. p. 113-129.
- 51 NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES. Firewood crops: shrub and tree species for energy production. Washington, 1980.
- 52 NIANG, A.I.; STYGER, E.; GAHAMANYI, A.; UGEWIZE, J. *Mimosa scabrella*: a tree for high places. Agroforestry Today, Nairobi, v. 6, n. 2, p. 7, 1994.
- 53 NIANG, A.I.; STYGER, E.; GAHAMANYI, A.; UGEWIZE, J. Comparative growth of 15 exotic species and provenances in high-elevation acid soils of Rwanda. In: NITROGEN FIXING TREES FOR ACID SOILS (1994 : Turrialba, Costa Rica). Proceedings... [S.l.] : Nitrogen Fixing Tree Association, 1995. p. 207-214.
- 54 OPIE, J.E.; CURTIN, R.A.; INCOLL, W.D. Stand management. In: HILLIS, W.E.; BROWN, A.G. Eucalypts for wood production. Adelaide : Griffin Press, 1978.
- 55 PEDROSO, O.; MATTOS, J.R. Estudo sobre madeiras do Rio Grande do Sul. Porto Alegre : IPRNR, 1987.

- 56 PICADO, W. *Mimosa scabrella* especie con potencial para sombra y producción de leña en cafetales de Costa Rica. In: SIMPOSIO SOBRE TECNICAS DE PRODUCCION DE LEÑA EM FINCAS PEQUEÑAS Y RECUPERACION DE SITIOS DEGRADADOS POR MEDIO DE SILVICULTURA INTENSIVA (1985 : Turrialba). Actas... Turrialba : CATIE, 1985. p. 227-239.
- 57 PIENAAR, L.V.; TURNBULL, K.J. The Chapman-Richards generalization of Von Bertalanffy's growth model for basal area growth and yield in even-aged stands. For. Sci., Washington, v. 19, n. 1, p. 2-22, 1973.
- 58 REICHER, F.; CORRÊA, J.B.C.; GORIN, P.A.J. Location of O-acetyl groups in the acidic xylan of *Mimosa scabrella* (bracatinga): Q-acetyl migration studies. Carboydr Res, Amsterdam, n. 135, p. 129-140, 1984.
- 59 _____; GORIN, P.A.J.; SIERAKOWSKI, M.R.; CORRÊA, J.B.C. Highly uneven distribution of O-acetyl groups in the acid D-xylan of *Mimosa scabrella* (bracatinga). Carbohydr Res, Amsterdam, n. 193, p. 23-31, 1989.
- 60 REZENDE, G.C.; CASTRO, P.F. de; MORAES, T.S.A.; MENDES, C.J.; SUITER FILHO, W.; DRUMOND, J.V. Exploração e produtividade de florestas de eucalipto plantadas em espaçamentos não convencionais. Silvicultura, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 594-600, 1982.
- 61 ROCHADELLI, R. Contribuição sócio-econômica da bracatinga (*Mimosa scabrella* Bentham) na Região Metropolitana de Curitiba-Norte (RMC-N). Curitiba, 1997. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 62 ROTTA, E.; OLIVEIRA, Y.M.M. de. Área de distribuição natural da bracatinga. In: SEMINÁRIO SOBRE ATUALIDADES E PERSPECTIVAS FLORESTAIS "BRACATINGA UMA OPÇÃO PARA REFLORESTAMENTO" (4. : 1981 : Curitiba). Anais... Colombo : EMBRAPA-CNPQ, 1981. p. 1-23.
- 63 SANQUETTA, C.R. Predição da sobrevivência em reflorestamentos de *Pinus elliottii* Engelm. Curitiba, 1990. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná.
- 64 _____. Princípios de simulação aplicados ao planejamento da produção florestal. Curitiba : UFPR, 1995.

- 65 SCHÖNAU, A.P.G.; COETZEE, J. Initial spacing, stand density and thinning in eucalypt plantations. Forest Ecology and Management, Amsterdam, n. 29, p. 245-266, 1989.
- 66 SEMINÁRIO SOBRE AGROSSILVICULTURA NO DESENVOLVIMENTO RURAL (1990 : Curitiba). Anais. Curitiba : Projeto FAO-GCP/BRA/025/FRA, 1990.
- 67 SIMÕES, J.W. et al. Formação, manejo e exploração de florestas com espécies de rápido crescimento. Brasília : IBDF, 1981.
- 68 _____.; COELHO, A.S.R.; MELLO, H.A.; COUTO, H.T.Z. Crescimento e produção de madeira de eucalipto. In: SIMPÓSIO IUFRO EM MELHORAMENTO GENÉTICO E PRODUTIVIDADE DE ESPÉCIES FLORESTAIS DE RÁPIDO CRESCIMENTO (1983 : São Paulo). São Paulo : SBS, 1983.
- 69 SOMERS, G.L.; FARRAR, JR., R.M. Biomathematical growth equations for natural longleaf pine stands. For. Sci., Washington, v. 37, n. 1, p. 227-244, 1991.
- 70 SPELTZ, R.M.; MONTEIRO, R.F.R; CORDEIRO, J.A. Ensaio de espaçamentos de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. In: IUFRO MEETING ON FORESTRY PROBLEMS OF GENUS ARAUCARIA (1980 : Curitiba). Anais... Curitiba : FUPEF, 1980. p.222-230
- 71 SPURR, S.H. Forest inventory. New York : Ronald Press, 1952.
- 72 STANDLEY, P.C.; STEYERMARK, J.A. Flora of Guatemala. Chicago : Natural History Museum, 1946.
- 73 STURION, J.A.; RESENDE, M.D.V. de; CARPANEZZI, A.A.; ZANON, A. Variação genética e seleção para características de crescimento em um teste de progênie de *Mimosa scabrella* var. *aspericarpa*. Bol. Pesq. Fl., Colombo, n. 28/29, p.73-83, jan./dez. 1994.
- 74 VOLKART, C.M.; PARUSSINI de TRÜMLER, M.G.; FRIEDL, R.A.; LÓPEZ, M.A.; EIBL de LÓPEZ, B. Resultados a los 4 años de un ensayo de comportamiento de espécies arbóreas y arbustivas aptas para leña en la provincia de Misiones. Yvyrareta, Eldorado, v. 2, n. 2, p. 23-39, 1991.